

فرآیندهای دیاژنزی کنترل کننده کیفیت مخزنی توالی کربناته سازند آسماری در میدان چشمه خوش، جنوب غرب ایران

جواد هنرمند^{۱*}، عبدالحسین امینی^۲

۱. دانشجوی دکتری زمین شناسی دانشگاه تهران و عضو هیئت علمی پژوهشگاه صنعت نفت honarmandj@ripi.ir

۲. عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

چکیده

سازند آسماری به سن الیگو- میوسن در میدان نفتی چشمه خوش از توالی مخلوط کربناته- آواری تشکیل شده است. توالی کربناته این سازند ناهمگونی های عمودی شدیدی نشان می دهد که ناشی از تاریخچه دیاژنزی پیچیده آن می باشد. در این مطالعه که با هدف بررسی تأثیر فرآیندهای دیاژنزی بر کیفیت مخزنی توالی کربناته این سازند انجام شده، نمونه های مغزه و مقاطع نازک از نظر ویژگی های رسوب شناسی و دیاژنزی مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور شناخت دقیق تر محصولات دیاژنزی، از میکروسکوپ الکترونی و کاتدولومینسانس استفاده گردید. داده های آنالیز مغزه (تخلخل و تراوایی) و نمودارهای پتروفیزیکی (تخلخل و اشباع نفت) سازند آسماری نیز جهت بررسی خواص مخزنی آن بکار گرفته شد. مطالعات دیاژنزی و مقایسه آن با داده های پتروفیزیکی نشان داد که دولومیتی شدن، سیمانی شدن (سیمان های کلسیت، انیدریت و سلسیت)، تراکم و انحلال مهم ترین پدیده های دیاژنزی کنترل کننده تخلخل و تراوایی در این سازند می باشند. بر مبنای توزیع عمودی پدیده های دیاژنزی و خواص مخزنی، زون های دیاژنزی در سازند آسماری معرفی شد. زون های دولومیتی با بلورهای متوسط که دارای آثار تراکم و سیمان انیدریتی خیلی کم هستند از بالاترین مقادیر تخلخل و تراوایی برخوردارند (زون های ۲۳، ۲۷ و ۳۰). در حالی که عملکرد شدید تراکم و تشکیل سیمان های انیدریت و سلسیت در برخی افق ها به شدت خواص مخزنی را کاهش داده است (زون های ۱۲، ۱۱ و ۲۴). اگرچه در بخش زیادی از افق های آهکی این سازند، تراکم و سیمان کلسیتی (اسپاری، هم بعد، فراگیرنده) باعث از بین رفتن بخش عمده تخلخل و تراوایی شده و زون های ناتراوایی را ایجاد کرده است (زون های ۳، ۲۰ و ۱۷) اما سیمانی شدن و تراکم محدود و وجود تخلخل بین دانه ای و انحلالی در بخش هایی از توالی آهکی سازند آسماری خواص مخزنی را بهبود بخشیده است (زون های ۳۱ و ۳۱).

با توجه به اینکه خواص مخزنی سازند آسماری در این میدان به شدت متأثر از فرآیندهای دیاژنزی است لذا مدل سازی استاتیک این مخزن و تعیین روند توزیع پارامترهای مخزنی مستلزم مطالعات دیاژنزی و تعیین زون های دیاژنزی در گستره میدان خواهد بود.

کلمات کلیدی: دیاژنزی، کیفیت مخزنی، آسماری و میدان نفتی چشمه خوش

۱. مقدمه

مطالعات نشان داده است که اگرچه بخش زیادی از خواص پتروفیزیکی مخازن می‌تواند توسط توزیع رخساره‌های رسوبی کنترل شود اما در بسیاری از مخازن به‌ویژه مخازن کربناته، فرایندهای دیاژنزی نقش بسیار مهم‌تری در توزیع تخلخل، تراوایی و مقدار تولید از مخزن دارند. بنابراین شناخت فرایندهای دیاژنزی بخش مهمی از توصیف مخازن کربناته و بازسازی مدل‌های مخزنی را تشکیل می‌دهد [۳،۲،۱].

در کشور ما نیز مطالعات گسترده‌ای در مورد نقش عوامل دیاژنزی بر روی تخلخل و تراوایی نمونه‌ها، در مقیاس یک یا چند چاه محدود انجام شده است. جدیدترین مطالعه بر روی سازند آسماری با عنوان "بررسی عوامل دیاژنزی مؤثر در کنترل جریان سیال در مخزن آسماری میدان گچساران" است که در سال‌های اخیر با مشارکت پژوهشگاه صنعت نفت و انستیتو نفت آی اف پی فرانسه انجام شده است [۴].

یک مجموعه رسوبی فقط یک بار نهشته می‌شود، درحالی‌که به دفعات ممکن است تحت تأثیر یک یا چند پدیده دیاژنزی قرار گیرد. لذا تعیین تاریخچه توالی وقایع دیاژنزی نقش مهمی در شناخت شدت تأثیر آن‌ها در زمان‌های مختلف و در محیط‌های دیاژنزی مختلف خواهد داشت. در برخی مواقع توالی وقایع دیاژنزی ممکن است فوق‌العاده پیچیده بوده و به‌ویژه در صورتی که این پدیده‌ها با الگوی رسوب‌گذاری انطباق نداشته باشد، پیش‌بینی الگوی توزیع محصولات دیاژنزی در گستره مورد مطالعه مشکل خواهد بود [۷،۶،۵،۴].

باتوجه به اهمیت مطالعات دیاژنزی سازند آسماری در بررسی روند توزیع ویژگی‌های مخزنی این سازند، مطالعات دقیق دیاژنزی در مقیاس میکروسکوپی و ماکروسکوپی بر روی نمونه‌های میدان چشمه‌خوش انجام شد. این مطالعات نشان داد که مهم‌ترین پدیده‌های دیاژنزی مؤثر بر کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه تراکم، سیمانی‌شدن، تشکیل سیمان تبخیری، انحلال و دولومیتی‌شدن می‌باشند. پدیده‌های دیاژنزی مذکور چندان از رخساره‌های رسوبی سازند آسماری تبعیت نمی‌کند. تأثیر توأم پدیده‌های تراکم و سیمانی‌شدن باعث تشکیل افق‌های ناتراوا شده در حالی که انحلال و دولومیتی‌شدن در برخی افق‌ها، تخلخل و تراوایی را به‌طور محسوسی افزایش داده و افق‌های مخزنی را ایجاد نموده است.

۲. موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

میدان چشمه‌خوش در منتهی‌الیه شمالی فروافتادگی دزفول، در نزدیکی مرز جنوبی لرستان و در فاصله حدود ۱۸۰ کیلومتری شمال غربی اهواز بین میداین نفتی دانان و پایدار قرار دارد (شکل ۱-۱). اولین چاه در این میدان در سال ۱۳۴۵ حفر شده، و در حال حاضر تعداد چاه‌های حفاری شده در این میدان به ۱۲ حلقه چاه رسیده است. در میدان چشمه‌خوش هم‌چون بسیاری از میداین واقع در فروافتادگی دزفول، سازند آسماری گسترش زیرسطحی داشته و مخزن مهم این میداین را تشکیل می‌دهد. در این بخش (فروافتادگی دزفول) قدیمی‌ترین سازند دارای رخنمون سازند آغاجاری با سن پلیوسن می‌باشد [۱].

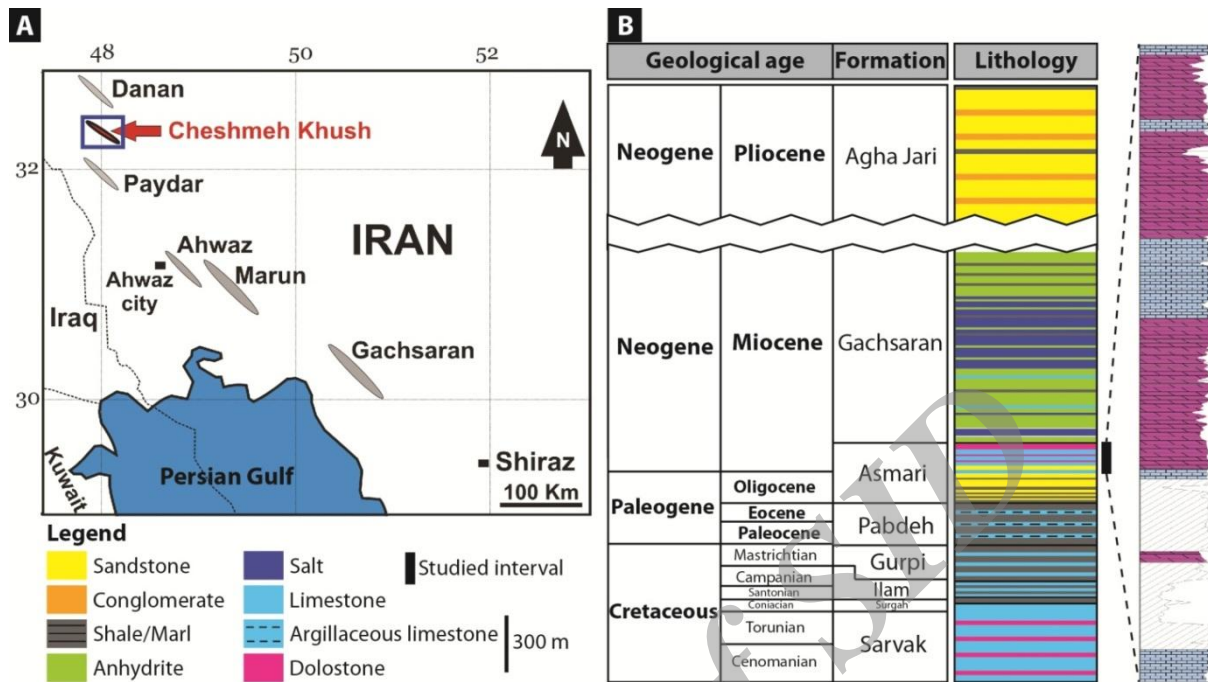
داده‌های لرزه‌نگاری دو بعدی نشان می‌دهد که تاقدیس چشمه‌خوش دارای طول ۲۸/۵ و عرض حداکثر ۴/۵ کیلومتر در بخش‌های مرکزی در افق آسماری می‌باشد. در سطح زمین ساختمان چشمه‌خوش یک ساختمان تک شیب می‌باشد که به-طرف شمال شرقی شیب دارد و بخش جنوب غربی آن توسط یک گسل تراستی محدود شده است.

مخزن آسماری، با ضخامت حدود ۳۲۰ متر (در چاه ۶)، در این میدان به علت نفوذ بخش ماسه سنگی اهواز به صورت یک مخزن هیبرید یا مخلوط ماسه سنگ و کربنات می باشد [۲]، (شکل ۱-B). در این مطالعه، پدیده‌های دیاژنزی و تأثیر آنها بر کیفیت مخزنی توالی کربناته این سازند مورد مطالعه قرار گرفت.

۳. روش‌های مطالعه

این مطالعه با هدف تعیین زون‌های دیاژنزی در بخش‌های مختلف مخزن و ارتباط آنها با خواص مخزنی تخلخل و تراوایی سازند آسماری در این میدان، انجام شد. به منظور شناسایی فرآیندهای دیاژنزی سازند آسماری در میدان مورد نظر، در ابتدا ۲۴۲ متر نمونه مغزه از سه چاه مورد مطالعه قرار گرفتند و پارامترهای در مقیاس مغزه هم‌چون سنگ‌شناسی، اندازه دانه‌ها، ساختمان‌های رسوبی، آثار تراکم (به‌ویژه رگچه‌های انحلالی و استیلولیت‌ها)، آثار زیست‌آشفته‌گی (مانند اثرات حفاری موجودات)، فضاهای خالی انحلالی، سیمان‌های کلسیتی و انیدریتی قابل روئیت، نودول‌های انیدریتی و نوع و مقدار تخلخل قابل روئیت بررسی گردید. در ادامه تعداد ۷۲۰ مقطع نازک تهیه شده از نمونه‌های مغزه که، مطابق روش دیکسون [۸]، با محلول آلزارین قرمز رنگ آمیزی شده بودند با میکروسکوپ پلاریزان (مدل نیکون) مورد مطالعات دقیق و کامل قرار گرفتند. کلیه پدیده‌های دیاژنزی در مقیاس میکروسکوپی همچون زیست‌آشفته‌گی، میکرایتی‌شدن، دولومیتی‌شدن (اندازه و شکل بلورهای دولومیت)، تراکم مکانیکی و شیمیایی، تخلخل‌های انحلالی (از نوع قالبی اسکلتی، قالبی اوئیدی، حفرهای و کانالی)، سیمانی‌شدن کلسیتی (شامل انواع اسپاری درشت‌بلور، هم‌بعد، فراگیرنده، رشدی هم‌محور و حاشیه‌ای هم‌ضخامت) شناسایی و به تصویر کشیده شدند. همچنین به منظور بررسی ارتباط پدیده‌های دیاژنزی با رخساره‌های رسوبی، پارامترهایی همچون بافت رسوبی و نوع و فراوانی آلوکم‌ها (همچون اوئیدها و فسیل‌ها) مطالعه و رخساره‌های رسوبی و کمربندهای رخساره‌ای معرفی شدند.

به منظور شناخت دقیق‌تر مورفولوژی سیمان‌های مختلف کلسیتی نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی و کاتدولومینسانس نیز مورد مطالعه قرار گرفتند [۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲] جهت بررسی ارتباط گسترش پدیده‌های دیاژنزی با خواص مخزنی، نتایج آنالیز مغزه شامل مقادیر تخلخل و تراوایی از تعداد ۷۰۰ نمونه پلاگ و هم‌چنین نمودارهای پتروفیزیکی هم‌چون نمودار گاما، تخلخل و اشباع نفت نیز مورد استفاده قرار گرفتند. تخلخل و تراوایی مغزه در آزمایشگاه و به ترتیب، نسبت به گاز هلیوم و هوا اندازه‌گیری گردیدند. در این مطالعه به منظور تفسیرهای پتروفیزیکی و رسم نمودارها از نرم‌افزار ژئولاگ استفاده شد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی میدان چشمه خوش، ستون چینه‌شناسی میدان و موقعیت چینه‌شناسی توالی کربناته مورد مطالعه

۴. رخساره‌های رسوبی

به منظور بررسی نقش رخساره‌های رسوبی بر کنترل خواص مخزنی سازند آسماری، نمونه‌های مغزه و مقاطع نازک از دیدگاه رسوب‌شناسی نیز مورد مطالعه قرار گرفت. براساس مشاهدات ماکروسکوپی و میکروسکوپی و مقایسه با رخساره‌های معرفی شده توسط محققین دیگر [۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۲۱، ۲۰، ۱۹، ۱۸، ۱۷] توالی کربناته سازند آسماری مطالعه و ۱۲ رخساره میکروسکوپی یا رخساره^۱ در قالب ۵ کمر بند رخساره‌ای (A, B, C, D & E) معرفی گردید. توصیف رخساره‌های مذکور، به اختصار در جدول ۱ ارائه شده است.

¹ Microfacies

جدول ۱: رخساره‌ها و کمربندهای رخساره‌ای بخش‌های کربناته سازند آسماری در میدان چشمه‌خوش

کمر بند رخساره‌ای	رخساره‌ها	
بخش عمیق دریای باز	بایوکلاست و کستون دارای فرامینفرهای پلاژیک	A
بخش کم عمق دریای باز	بایوکلاست پکستون دارای فرامینفرهای بتتیک بزرگ	B1
	بایوکلاست پکستون دارای جلبک قرمز، اکیئودرم و روتالیا	B2
سد	اوتیدگرینستون	C1
	بایوکلاست / فاورینا / اوتیدگرینستون	C2
	میلیولیدا دندریتینا گرینستون	C3
لاگون	میلیولید بایوکلاست پکستون	D1
	میلیولید دندریتینا و کستون - پکستون	D2
	باندستون مرجانی	D3
پهنه جزر و مدی	مادستون دولومیتی دانه‌ریز بدون لایه‌بندی	E1
	مادستون دولومیتی دانه‌ریز دارای لایه‌بندی و بین‌لایه‌های تبخیری	E2
	پیسونلیا پکستون	E3

در شکل ۲ ارتباط این رخساره‌ها با تخلخل و تراوایی مغزه ارائه شده است. این نمودارها نشان می‌دهد که در این میدان نیز هم‌چون بسیاری از میداین فروافتادگی دزفول، خواص مخزنی چندان از رخساره رسوبی تبعیت نمی‌کند. این حالت در رخساره‌های سد، حاشیه سد و لاگون به مراتب بیشتر مشاهده می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود که پدیده‌های دیاژنزی نقش خیلی مهم‌تری در ایجاد ناهمگونی‌های افقی و عمودی در خواص مخزنی این سازند ایفا نمایند.

- فرآیندهای دیاژنزی

مشاهدات ماکروسکوپی و میکروسکوپی نمونه‌های سازند آسماری در میدان چشمه‌خوش نشان می‌دهد که توالی کربناته این سازند متأثر از فرآیندهای دیاژنزی متنوعی بوده که خواص پتروفیزیکی آن را دستخوش تغییرات زیادی نموده است. زیست-آشفتگی^۱، تراکم^۲، انحلال^۳، سیمانی شدن^۴، کانه‌زایی تبخیری^۵ و دولومیتی شدن، مهم‌ترین پدیده‌های دیاژنزی موثر بر سازند

¹ Bioturbation

² Compaction

³ Dissolution

⁴ Cementation

⁵ Evaporite mineralization

آسماری در این میدان می‌باشند. در ادامه هر یک از پدیده‌های دیاژنزی مذکور و ارتباط آن‌ها با ویژگی‌های مخزنی این سازند بررسی می‌شود.

- زیست‌آشفستگی

زیست‌آشفستگی فرآیندی است که معمولاً بر اثر فعالیت موجودات در زمان رسوب‌گذاری (در محیط فرآتیک دریایی) می‌تواند باعث تغییراتی در بافت و یا رنگ رسوبات گردد. افزون بر آن فعالیت موجودات زنده بر روی رسوبات سخت نشده و گاهی سخت شده می‌تواند آثار حفاری ایجاد نماید [۲۲]. آثار زیست‌آشفستگی و حفاری موجودات در سازند آسماری میدان مورد مطالعه بسیار محدود و عمدتاً در نهشته‌های گل-پشتیبان (مادستون، وکستون و پکستون) متعلق به محیط‌های لاگون (رخساره D2) و دریای باز (رخساره B1 و B2) مشاهده گردید (شکل‌های ۳-A و ۳-B).

از آنجا که حضور و فعالیت موجود و در نتیجه آثار زیست‌آشفستگی عمدتاً در محیط‌های آرام و کم انرژی زیر سطح اثر امواج در شرایط عادی^۱ می‌باشد و در چنین شرایطی رخساره‌ها عمدتاً از زمینه میکرایتی با تخلخل کم برخوردارند [۲]، لذا هر چند در مواردی فرآیند زیست‌آشفستگی و حفاری موجودات می‌تواند باعث ایجاد ناهمگونی در بافت و در نتیجه تخلخل و تراوایی سنگ گردد اما تاثیر آن بر خواص مخزنی عمدتاً قابل توجه نمی‌باشد.

- تراکم

مطالعات پتروگرافی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه نشان می‌دهد که تراکم در سازند آسماری به دو شکل مکانیکی و شیمیایی مشاهده می‌شود [۲۳، ۲۴]. فرآیند تراکم مکانیکی در این سازند به شکل کاهش حجم فضاها بین‌دانه‌ای، درهم‌رفتگی و شکستگی دانه‌ها و هم‌چنین شکستگی سیمان ایزوپیکوس اطراف آلوم‌ها رخ داده است (شکل ۳-D). فرآیند تراکم مکانیکی در نهشته‌های دانه‌ریز با بافت گل-پشتیبان، به‌ویژه در اعماق تدفین کم، مؤثرتر بوده اما آثار این تراکم در نهشته‌های دانه-پشتیبان با بافت گرینستون و پکستون مشهودتر هستند. با توجه به فراوانی بیشتر رخساره‌های با بافت گرینستون و پکستون (رخساره‌های B1، B2، C1، C2، C3، D1 و D2) در سازند آسماری میدان مورد مطالعه و تأثیر زیاد تراکم مکانیکی بر این نوع بافت، بخش زیادی از فضاها خالی بین‌دانه‌ای در این سازند از بین رفته است.

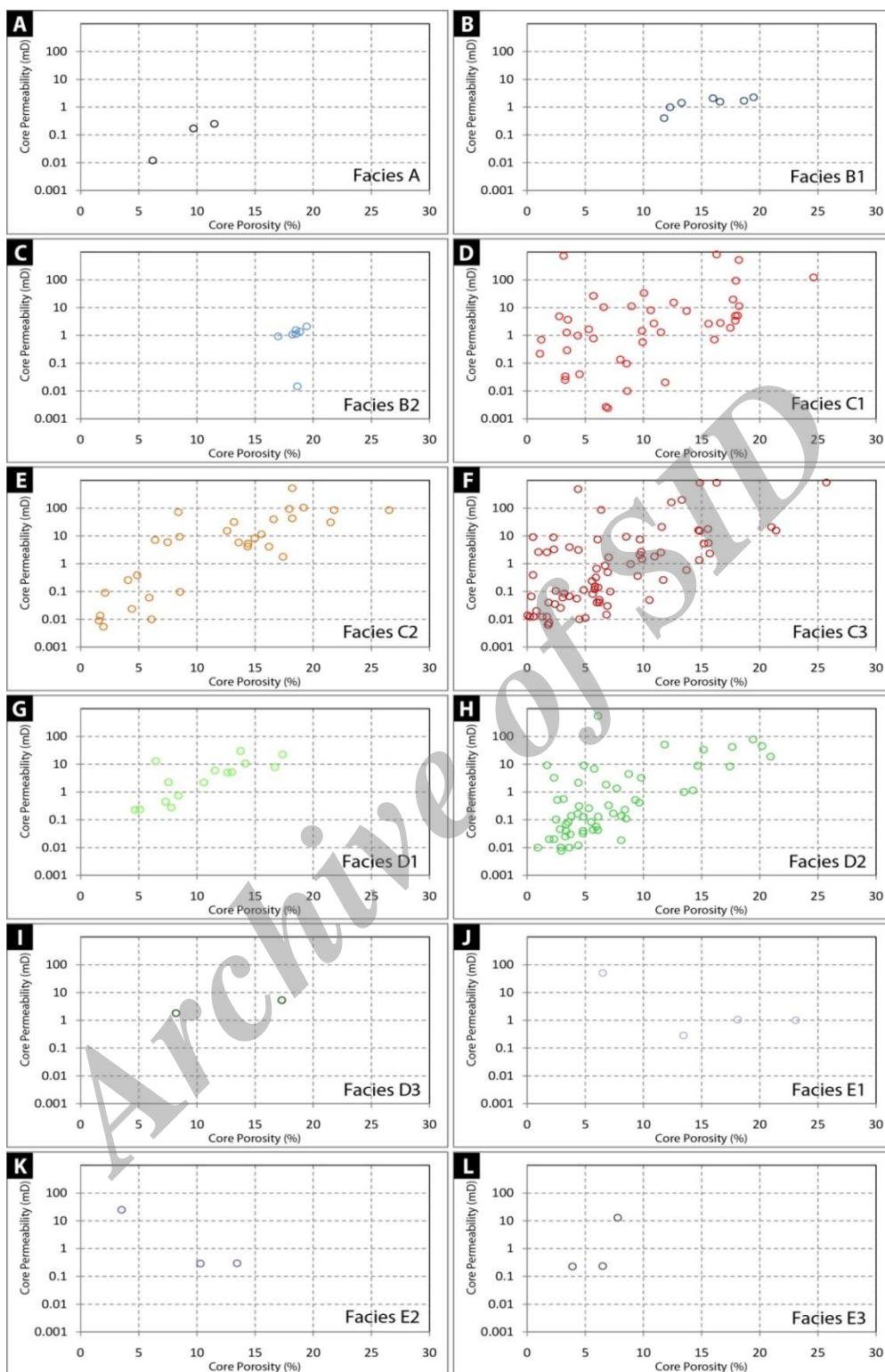
تراکم شیمیایی ناشی از افزایش فشار در محل تماس دانه‌ها و یا در امتداد سطوح لایه‌بندی می‌باشد. منشاء این فشار می‌تواند وزن طبقات بالایی و یا تنش‌های تکنونیک باشد. افزایش فشار باعث انحلال در مرز دانه‌ها شده و به تدریج فابریک‌های درهم، رگچه‌های انحلالی^۳ و استیلولیت‌ها^۴ را تشکیل می‌دهد [۵]. این اشکال در گرینستون‌های اوئیدی و اسکلتی و پکستون اسکلتی محیط‌های لاگون و بخش کم عمق دریای باز به فراوانی مشاهده گردید (شکل‌های ۳-C و ۳-D). با توجه به تغییرات ایجاد شده در بافت و فابریک سنگ در نتیجه تراکم، بخش زیادی از فضاها خالی بین‌دانه‌ای سازند آسماری از بین رفته و در حواشی زون‌های استیلولیتی نیز سیمان کلسیتی مرتبط با انحلال فشاری بخش زیادی از فضاها خالی را اشغال نموده است. به این ترتیب فرآیند تراکم شیمیایی به عنوان یکی از مهمترین پدیده‌های دیاژنزی کاهش‌دهنده تخلخل و تراوایی در سازند آسماری میدان مورد مطالعه محسوب می‌شود.

¹ Fair weather wave base

² Fitted Fabric

³ Solution seams

⁴ Stylolite



شکل ۲: نمودار تخلخل-تراوایی رخساره‌های کربناته سازند سماری در میدان چشمه خوش

- بیشترین آثار تراکم مکانیکی در نمونه‌های متعلق به رخساره‌های سد و حاشیه لاگونی سد (C1, C2 & C3) وجود دارد.
بیشترین آثار تراکم شیمیایی شامل رگچه‌های انحلالی و استیلولیت نیز در نمونه‌های متعلق به رخساره‌های لاگون و سد (D1, D2, C1, C2 & C3) وجود دارد.

- انحلال

فرآیند انحلال یکی از پدیده‌های مهم دیاژنزی افزایش‌دهنده تخلخل در سنگ‌های رسوبی محسوب می‌شود. حرکت آب‌های تحت اشباع نسبت به کربنات کلسیم عامل اصلی انحلال دانه‌های کربناته، سیمان و ماتریکس می‌باشد. این فرآیند در نهشته‌های کربناته در محیط‌های دیاژنزی نزدیک به سطح، محیط‌های مثنوریک، منطقه آمیختگی آب‌ها^۱ و همچنین محیط‌های دیاژنزی تدفینی رخ می‌دهد [۵،۲۵]. اهمیت این فرآیند به دلیل نقش آن در تشکیل فضاهای خالی جدید و یا توسعه فضاهای خالی اولیه در سنگ می‌باشد.

مطالعات ماکروسکوپی و میکروسکوپی نمونه‌های سازند آسماری در میدان مورد مطالعه نشان می‌دهد که فضاهای خالی قالبی و حفره‌ای (که در برخی نمونه‌ها اندازه آن‌ها به بیش از ۵ میلیمتر می‌رسد) در بسیاری از افق‌های کربناته این سازند به فراوانی تشکیل شده است (شکل‌های E-۳، F-۳ و G-۳). انحلال کامل اوئیدها یا بخشی از فضاهای درون لامینه‌های^۲ اوئید در رخساره اوئید گرینستون (رخساره‌های C1 و C2)، به ترتیب، تخلخل قالبی اوئیدی و تخلخل قالبی درون لامینه‌های^۳ را ایجاد کرده است [۷،۲۶]. این انواع تخلخل در صورت عدم ارتباط مناسب بین آن‌ها از طریق شبکه فضاهای خالی بین‌بلوری و یا بین‌دانه‌ای موجود در سنگ افزایش محسوسی در تراوایی ایجاد نخواهد کرد [۷].

- سیمانی شدن

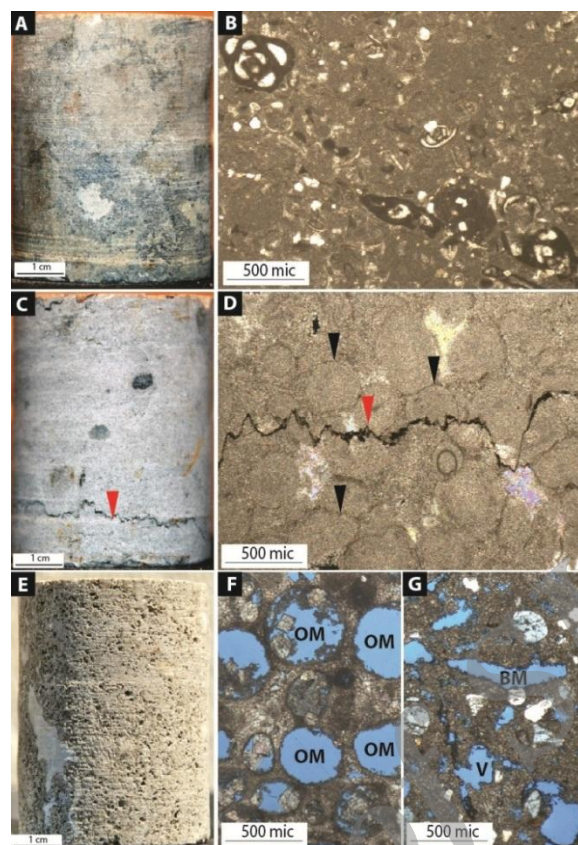
سیمانی شدن یکی از متداول‌ترین و مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی مؤثر بر کیفیت مخزنی به‌ویژه در کربنات‌ها می‌باشد. به طور کلی فرآیند سیمانی شدن در جایی که سیالات درون‌سازندی از نظر کربنات کلسیم به حد فوق اشباع رسیده باشد رخ می‌دهد [۲۷].

مطالعات انجام شده بر روی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه نشان داد که سیمان‌های کلسیتی، انیدریتی و سلسیتی فراوان‌ترین انواع سیمان در این سازند می‌باشند. این نوع سیمان‌ها بخش زیادی از فضاهای خالی بین‌دانه‌ای، درون دانه‌ای، قالبی، حفره‌ای و شکستگی در این سازند را فراگرفته‌اند. سیمان کلسیتی با توجه به محیط دیاژنزی به اشکال متفاوتی مشاهده شده، که در ادامه هر یک از این سیمان‌های کلسیتی و ارتباط آن با خواص مخزنی معرفی می‌شوند. افزون بر این، در این مطالعه به منظور شناسایی بهتر فرآیندهای دیاژنزی به‌ویژه انواع سیمان در سازند آسماری، تعداد ۳۴ نمونه آماده‌سازی و با استفاده از میکروسکوپ کاتدولومینسانس مورد مطالعه قرار گرفت.

¹ Mixing zone

² Cortices

³ Intracortical moldic porosity



شکل ۳: تصاویر نمونه‌های مغزه و مقاطع نازک از آشفته‌گی زیستی (شکل‌های A و B)، اشکال تراکم مکانیکی (درهم رنگی و مرزهای مضرسی دانه‌های اوئید-شکل D، فلش‌های سیاه) و تراکم شیمیایی (استیلولیت-شکل C و D، فلش خاکستری) و همچنین انحلال (تخلخل‌های قالبی اوئیدی (OM)-شکل‌های E و F و قالبی اسکلتی (BM) و حفره‌ای (V)-شکل G.

- سیمان کلسیتی هم‌بعد

سیمان کلسیتی هم‌بعد یکی از فراوان‌ترین سیمان‌های کلسیتی در سازند آسماری میدان چشمه‌خوش می‌باشد که بسیاری از حفرات، فضاهای خالی بین‌دانه‌ای و داخل قطعات فسیلی را فرا گرفته است (شکل ۴). سیمان کلسیت اسپاری هم‌بعد می‌تواند در محیط متئوریک و تدفینی تشکیل شود [۲۸،۵]. با توجه به رنگ لومینسانس تیره‌تر آن به نظر می‌رسد که این نوع سیمان در بسیاری از نمونه‌ها، در شرایط تدفینی کم عمق تشکیل شده باشند (شکل‌های A-۴، B-۴، F-۴، G-۴ و H-۴). فراوانی زیاد و گسترش وسیع سیمان کلسیتی هم‌بعد در رخساره‌های مختلف باعث شده که این نوع سیمان نقش مهمی در کاهش کیفیت مخزنی سازند آسماری داشته باشد.

بیشترین گسترش سیمان‌های کلسیتی در افق آهکی بخش میانی آکی‌تاین است. سیمانی شدن گسترده در این افق باعث کاهش شدید تخلخل، تراوایی و در نتیجه اشباع نفت گردیده و آن را به یک افق آهکی ناتراوا تبدیل کرده است.

- سیمان کلسیت رورشدی هم‌محور

یکی دیگر از سیمان‌های تشکیل شده در سازند آسماری میدان مورد مطالعه، سیمان کلسیت رورشدی هم‌محور است (شکل C-۴). این نوع سیمان که عمدتاً در اطراف قطعات اکتیودرم تشکیل شده، ممکن است در محیط‌های مختلف دیاژنزی شامل محیط فرآتیک آب شیرین [۲۹] و تدفینی [۳۰] تشکیل شود. مطالعات پتروگرافی نمونه‌های سازند آسماری در میدان مورد

مطالعه بیانگر این است که سیمان رشدی هم‌محور در این سازند گسترش محدودی داشته و تنها در بخش‌هایی از رخساره‌های دریای باز و حاشیه لاگون مشاهده می‌شود.

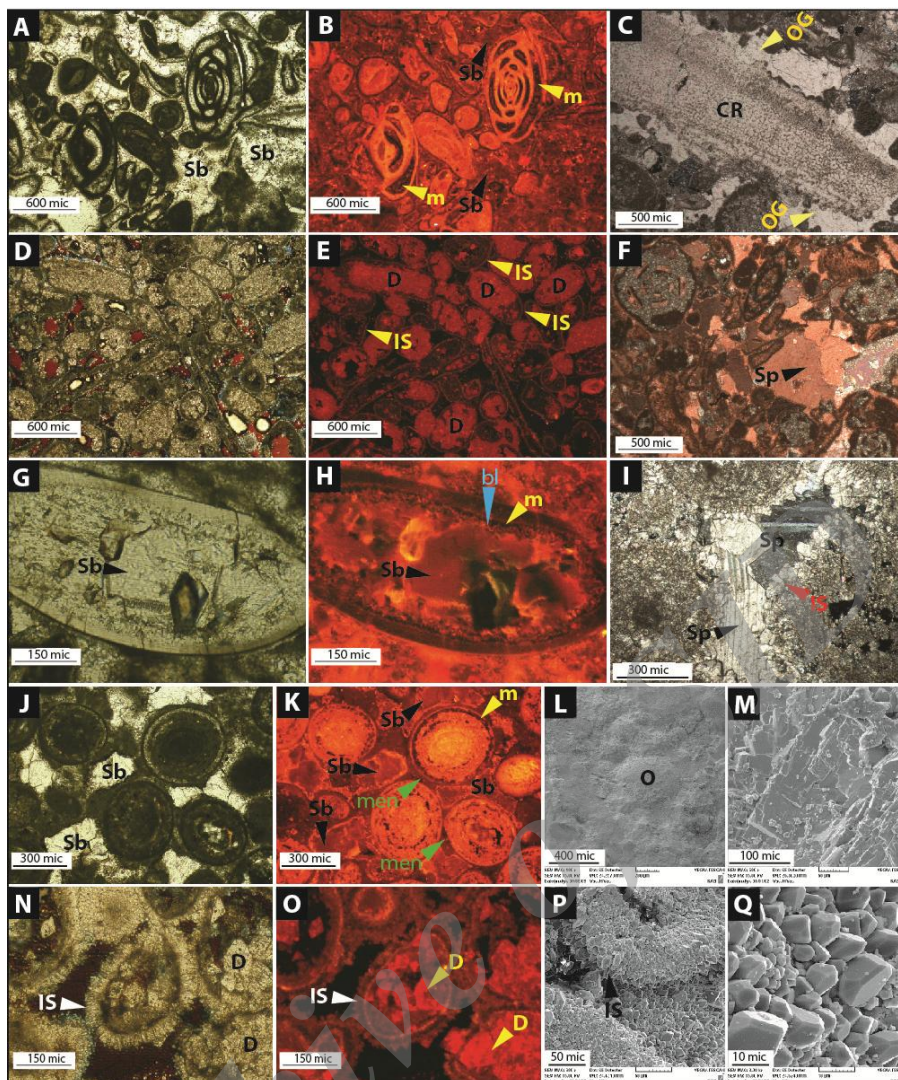
- سیمان کلسیتی هم‌ضخامت

در سازند آسماری این نوع از سیمان دریایی به فراوانی در اطراف دانه‌های اوئید و اجزاء اسکلتی در بافت‌های گرینستون و پکستون مشاهده می‌شود (شکل‌های E-۴، D-۴، E-۴، N-۴ و O-۴). مطالعات پتروگرافی نمونه‌های سازند آسماری در میدان مورد مطالعه بیانگر این است که سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت اگرچه در اکثر رخساره‌های گرینستون اوئیدی و اسکلتی متعلق به رخساره‌های سد و حاشیه لاگونی سد (C1, C2 & C3) وجود دارد اما شکل و نحوه آرایش آن در اطراف دانه‌ها سبب می‌شود که بخش کمی از فضاهای بین‌دانه‌ای توسط این نوع سیمان اشغال شود و بنابراین تاثیر به مراتب کمتری نسبت به سایر اشکال سیمان‌های کلسیتی (کلسیت اسپاری، هم‌بعد و فراگیرنده) روی کاهش تخلخل و در نتیجه تراوایی سنگ می‌گذارد [۲۹،۵].

- کانه‌زایی تبخیری

انیدریت (با فرمول شیمیایی CaSO_4) فراوان‌ترین نوع گسترش سولفات می‌باشد که به صورت سیمان پرکننده در تخلخل‌های بین‌بلوری، بین‌دانه‌ای، قالبی، حفرات انحلالی و شکستگی‌ها، در سازند آسماری، مشاهده شده است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که انیدریت عمدتاً به شکل سیمان و نودول (شکل اولیه سولفات کلسیم) در این سازند گسترش دارد (شکل‌های A-۵، B-۵، F-۵، G-۵). در برخی افق‌ها نیز انیدریت به شکل جانشینی قطعات اسکلتی مشاهده شد. مقایسه زون‌های دارای نودول انیدریتی با زون‌های دولومیتی تراوا و ناتراوا نشان می‌دهد که تشکیل انیدریت به اشکال نودولی تاثیر چندانی بر کیفیت مخزنی سازند آسماری ندارد [۳۱،۳۲]. در صورتی که سیمان انیدریتی با اشغال انواع فضاهای بین‌دانه‌ای، قالبی، حفره‌ای، بین‌بلوری و بعضاً "کانالی نقش مهمی در کاهش مقدار تخلخل و تراوایی بخش‌های دولومیتی این سازند دارد. این نوع انیدریت پرکننده فضاهای خالی در برخی افق‌های دولومیتی سازند آسماری تا ۴۰ درصد حجم سنگ را فرا گرفته و تخلخل و تراوایی سنگ را به نزدیک صفر کاهش داده است (شکل F-۵).

در سازند آسماری بیشترین فراوانی سیمان انیدریتی کاهش دهنده تخلخل و تراوایی در رخساره‌های سد و لاگون می‌باشد. در حالی که بیشترین گسترش انیدریت به شکل نودول در محیط لاگونی خیلی شور و پهنه جزر و مدی مشاهده شد.



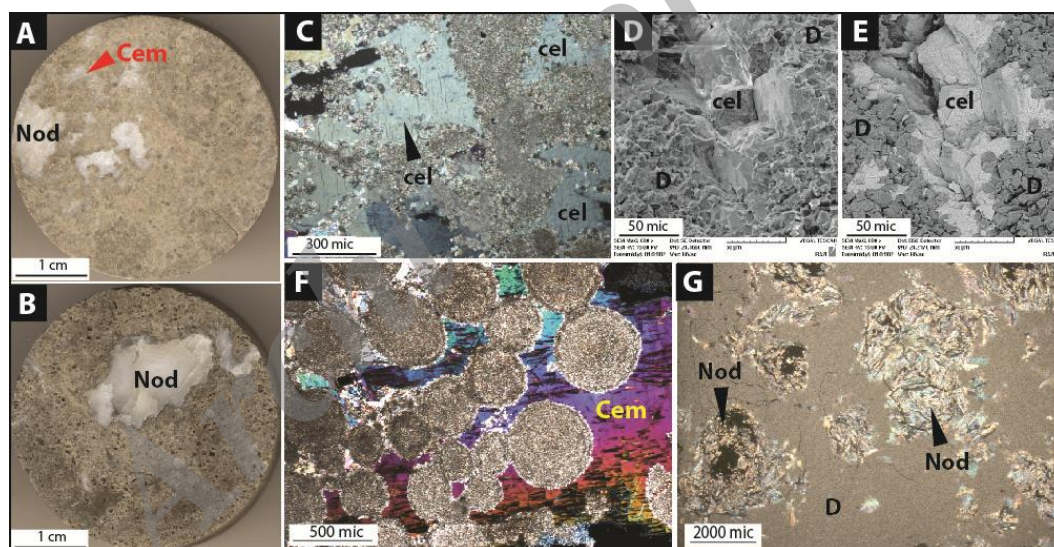
شکل ۴: تصاویر میکروسکوپی از انواع سیمان کلسیتی در بافت‌های گریستونی سازنده آسماری در میدان مورد مطالعه. (A و B) سیمان‌های کلسیتی نوع دریایی (m) و تدفینی کم عمق (sb)؛ (C) سیمان رشدی هم‌محور (OG) در اطراف ساقه کرینوئید (CR)؛ (D و E) سیمان‌های ایزوپکوس (IS) در اطراف دانه‌های اوئید و دولومیتی شدن اوئیدها (D)؛ (F) سیمان کلسیت اسپاری (SP)؛ (G و H) سیمان‌های کلسیتی فاقد لومینسانس از نوع دریایی (m)، تیغه‌ای (bl) و تدفینی کم عمق (sb)؛ (I) سیمان کلسیت اسپاری (SP) در بین اوئیدها؛ (J و K) سیمان‌های دریایی (m)، مینسکوس (men) و تدفینی کم عمق (sb)؛ (L) تصویر میکروسکوپ الکترونی از سیمان کلسیت اسپاری در فضای بین اوئیدها (O-در شکل L)؛ (M) تصویر میکروسکوپ الکترونی از سیمان کلسیت اسپاری در فضای بین اوئیدها؛ (N و O) سیمان ایزوپکوس (IS) و بلورهای دولومیت (D)؛ (P و Q) تصویر میکروسکوپ الکترونی از سیمان ایزوپکوس.

یکی دیگر از کانی‌های تبخیری که به شکل سیمان بخشی از فضاهای خالی سازنده آسماری را در زون‌های دولومیتی، فراگرفته و باعث کاهش تخلخل در این سازنده شده، کانی سلسیت (با فرمول شیمیایی $SrSO_4$) می‌باشد. این کانی متداول‌ترین کانی سولفات‌دار استرانسیم، از گروه باریت، می‌باشد که همراه با انیدریت و ژپس در بسیاری از توالی‌های کربناته مشاهده می‌شود [۳۳، ۳۴]. سلسیت نیز هم‌چون انیدریت به اشکال سیمان، جایگزینی و نودول می‌تواند در نهشته‌های کربناته دیده شود. بیشترین گسترش سلسیت در سازنده آسماری میدان چشمه‌خوش به شکل سیمان پرکننده فضاهای خالی است (شکل‌های ۵- C، D-۵ و E-۵). گسترش نودولی و کومه‌ای سلسیت نیز هم‌چون انیدریت تأثیر چندانی بر اندازه فضاهای خالی و تراوایی سنگ ندارد.

این کانی باتوجه به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی با روش‌های مختلف قابل شناسایی است. در این مطالعه جهت اطمینان در شناسایی، علاوه بر مطالعات پتروگرافی، از تصاویر BSE میکروسکوپ الکترونی^۱ و هم‌چنین آنالیز نقطه‌ای (EDS) استفاده شد [۳۴]، (شکل‌های ۵-D و ۵-E و ۶). این کانی با استفاده از تصاویر BSE به خوبی قابل تشخیص بوده و آنالیز EDS نیز با نشان دادن مقادیر بالای Sr و S وجود سلسیت را در نمونه‌های شناسایی شده تأیید می‌کند (شکل ۶).

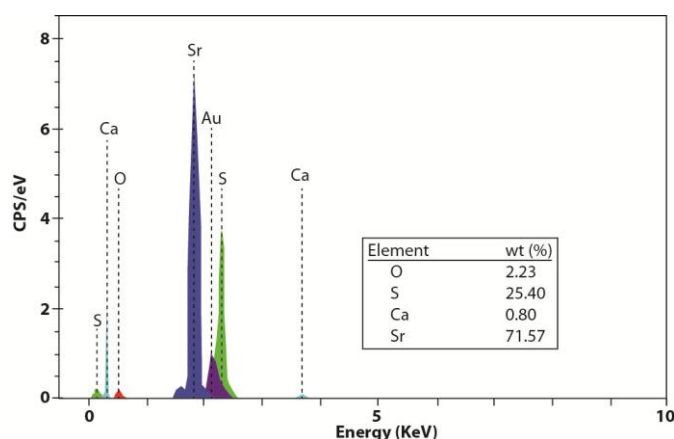
– دولومیتی شدن

دولومیت یا کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم با فرمول شیمیایی $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ یکی دیگر از محصولات دیاژنزی است که در نتیجه فرآیند دولومیتی شدن در بیشتر مراحل دیاژنز، بلافاصله پس از رسوب‌گذاری تا دفن عمیق و از آب‌های با ترکیب شیمیایی مختلف (شامل آب دریا، آب‌های بسیار شور و مخلوط آب‌های متوریک و دریایی) تشکیل می‌شود. دولومیت در شرایط هیدروترمال نیز می‌تواند تشکیل شود [۳۵، ۳۶]. دولومیتی شدن به دلیل نقشی که در افزایش حجم فضاها و خالی و امکان ایجاد ارتباط بهتر آن‌ها ایفا می‌کند از فرآیندهای مهم دیاژنزی در مخازن کربناته محسوب می‌شود [۲، ۵]. لذا مطالعات گسترده‌ای بر روی انواع دولومیت‌ها، مکانیسم‌های تشکیل و ارتباط آن‌ها با خواص مخزنی سنگ‌های کربناته انجام شده است [۴۱، ۴۰، ۳۹، ۳۸، ۳۷، ۳۶]. در سازند آسماری میدان چشمه‌خوش نیز دولومیتی شدن گسترده‌ترین و مهم‌ترین پدیده دیاژنزی مؤثر بر تخلخل و تراوایی می‌باشد.



شکل ۵: تصاویر مغزه و میکروسکوپی از سیمان‌های انیدریتی و سلسیت در میدان مورد مطالعه. (A) سیمان انیدریتی (Cem) و نودول انیدریتی (Nod)؛ (B) نودول انیدریتی (Nod) در نمونه مغزه؛ (C) تصویر میکروسکوپی از سیمان سلسیتی (cel)؛ (D) گسترش سیمان انیدریتی در تصویر میکروسکوپ الکترونی؛ (E) تصویر BSE از سیمان سلسیتی (cel) در نمونه دولومیتی؛ (F) سیمان انیدریتی زیاد (Cem) در فضاها بین‌دانه‌ای نمونه اوئید گرینستون دولومیتی؛ (G) نودول‌های انیدریتی (Nod) در نمونه مادستون دولومیتی دانه ریز.

¹ Back Scattered Electron Microscopy



شکل ۶: فراوانی عناصر تشکیل دهنده کانی سلسیت در نمودار آنالیز نقطه‌ای

مطالعات میکروسکوپی نمونه‌های سازند آسماری نشان می‌دهد، که با وجود فراوانی زیاد دولومیت‌ها در این سازند، بخش کمی از این دولومیت‌ها در مراحل اولیه دیاژنز تشکیل شده‌اند (شکل‌های A-۷ و D-۷). این نوع دولومیت‌ها که در سازند آسماری میدان مورد مطالعه با گسترش محدود، بلورهای ریز، مرزهای مسطح شکل‌دار^۱ مشخص بوده و اغلب متراکم، فاقد تخلخل و همراه با نودول‌های انیدریتی می‌باشند. دولومیت‌های مذکور در پهنه جزر و مدی (رخساره‌های E1 و E2) دردمای پایین و تحت شرایط سطحی نهشته شده‌اند [۲۹،۳۷،۴۰]. تخلخل و تراوایی مغزه در این نوع دولومیت‌ها، به ترتیب، کمتر از ۱۰ درصد و ۰/۱ میلی‌داری می‌باشد.

گروه دوم دولومیت‌های موجود در سازند آسماری دولومیت‌های دانه درشت‌تری هستند که بر اثر رشد آرام بلورها در جریان پیوسته سیالات دولومیتی‌کننده در دمای پایین به وجود می‌آیند [۴۲،۳۶]. در این گروه که فراوان‌ترین گروه دولومیت‌ها در سازند آسماری میدان مورد مطالعه محسوب می‌شوند اندازه بلورهای دولومیت بطور متوسط حدود ۴۰-۵۰ میکرون بوده و اغلب این نوع دولومیت‌ها متراکم و دارای مرزهای مسطح نیمه شکل‌دار^۲ تا شکل‌دار، موزائیکی هم‌اندازه هستند (شکل‌های B-۷ و E-۷). بلورهای دولومیت با این اندازه دارای منافذ بین‌بلوری بهتری نسبت به نوع اول بوده و در نتیجه از تخلخل و تراوایی بهتری نیز برخوردار می‌باشد. به طوری که در صورت عدم تأثیر زیاد تراکم و سیمان‌های تبخیری، تخلخل و تراوایی مغزه در این نوع دولومیت‌ها، به بیش از ۲۶/۵ درصد و ۸۵۰ میلی‌داری می‌رسد.

این نوع دولومیت‌ها که بیشتر در رخساره‌های رمپ داخلی (نهشته‌های محیط لاگون) و سدهای بایوکلاستی و اوئیدی سازند آسماری مشاهده می‌شوند، فراوان‌ترین نوع دولومیت‌ها را تشکیل می‌دهند. عدم وجود فابریک‌های جانیشینی و نبود زون‌بندی در تصاویر تهیه شده با میکروسکوپ کاتدولومینسانس از این دولومیت‌ها حاکی از این است که دولومیت‌های متوسط بلور سازند آسماری در نتیجه تبلور مجدد دولومیت‌ها ریزبلور در شرایط دفن کم عمق تشکیل شده‌اند [۴۳،۳۶]. این دولومیت‌ها مهم‌ترین زون‌های مخزنی را در میدان مورد مطالعه تشکیل می‌دهند. این زون‌های دولومیتی ضخیم (به ضخامت چند ده متر) و متخلخل در گستره میدان چشمه‌خوش و حتی تعدادی از میداین هیدروکربوری فروافتادگی دزفول گسترش دارد [۳۶]. وارن دولومیت‌های متوسط بلوری را که در نهشته‌های حاشیه پلاتفرم کربناته و همراه با نهشته‌های تبخیری هم‌چون انیدریت تشکیل می‌شوند را به مدل آمیختگی آب‌های خیلی شور- دریایی- متئوریک نسبت می‌دهد و معتقد است که این نوع دولومیت در واحدهای چند ده تا چند صد متری در منطقه وسیعی گسترش می‌یابند.

¹ Planar-E

² Planar-S

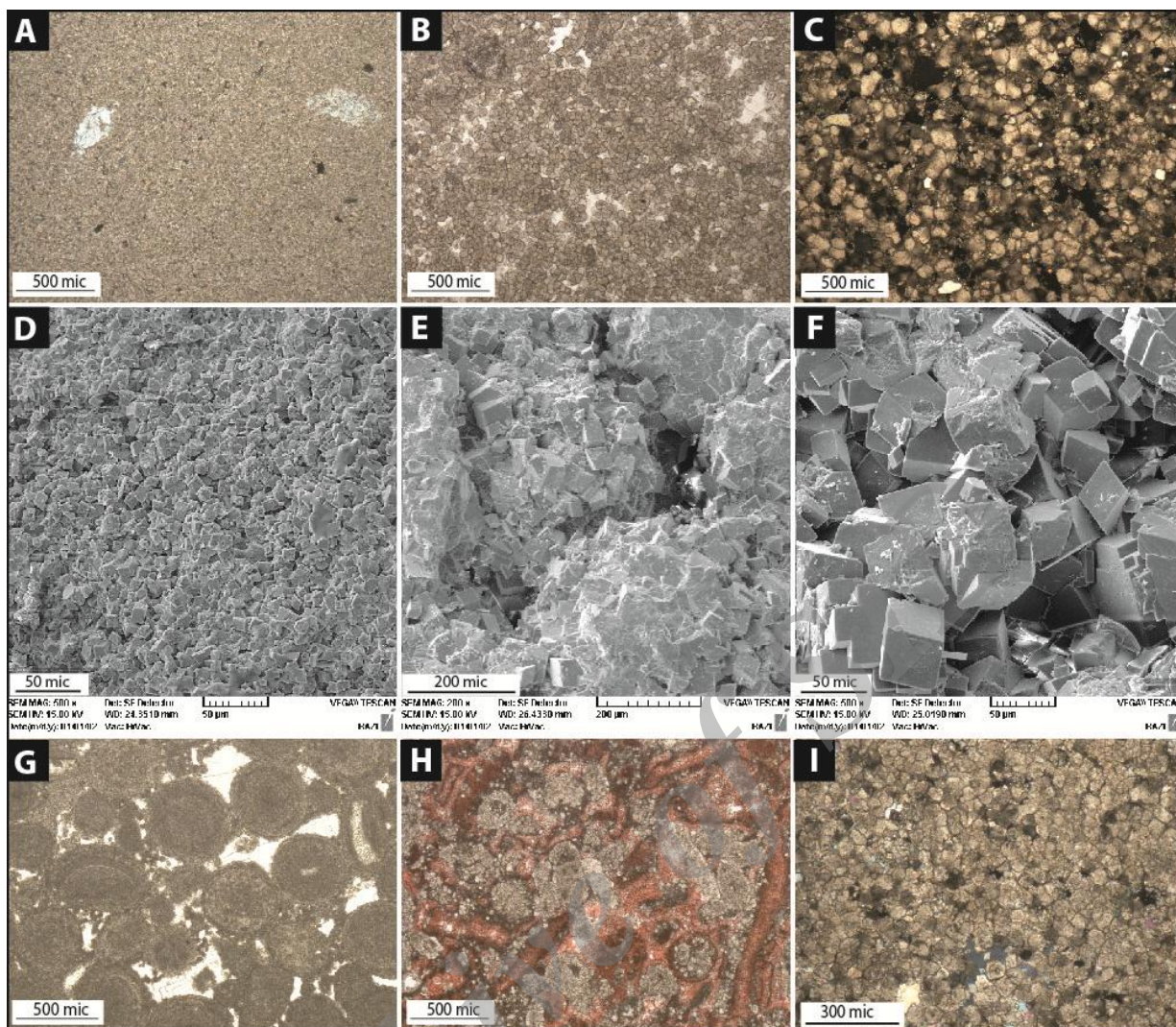
نوع سوم دولومیت‌های تشکیل شده در سازند آسماری در میدان مورد مطالعه دانه درشت‌تر از دو نوع قبلی است. این نوع دولومیت دارای بلورهای درشت در اندازه ۱۰۰ میکرون و بزرگ‌تر و مرزهای نیمه‌شکل‌دار می‌باشد (شکل‌های C-۷ و F-۷). این نوع دولومیت‌های درشت بلور در سازند آسماری فراوانی زیادی نداشته و به طور محلی در تعدادی از نمونه‌ها در مجاورت استیلولیت‌ها و زون‌های متأثر از تراکم زیاد مشاهده شده است. این دولومیت‌ها دارای بافت مخرب^۱ بوده و بافت رسوبی اولیه سنگ میزبان را کاملاً^۲ از بین برده‌اند. بسیاری از این دولومیت‌ها دارای هسته کدر^۳ و حاشیه شفاف^۴ می‌باشند (شکل C-۷). با توجه به مشاهدات مذکور، این نوع دولومیت‌ها در برخی افق‌ها احتمالاً^۵ در اثر تبلور دوباره دولومیت‌های انواع قبلی طی تدفین تشکیل شده‌اند [۴۴]. دولومیت‌های درشت‌بلور تشکیل شده در سازند آسماری با توجه به شکل غیرصفحه‌ای و خاموشی موجی و فضاهای کم بین‌بلوری به دولومیت‌های تشکیل شده در درجه حرارت و عمق بالا (دولومیت‌های تدفینی) نسبت داده شدند [۴۴، ۴۵، ۳۶].

تفاوت در بافت، نوع و ترکیب کانی‌شناسی دانه‌ها، ترکیب شیمیایی سیالات دولومیت‌ساز و نرخ متفاوت دولومیتی شدن در سازند آسماری میدان مورد مطالعه سبب شده که حالت‌های مختلف از دولومیتی شدن در ارتباط با بافت سنگ مشاهده شود [۴۶، ۳]. این حالت‌ها شامل: (۱) دولومیتی شدن با حفظ فابریک اولیه سنگ^۴ و (۲) دولومیتی شدن مخرب^۱ یا از بین برنده فابریک سنگ^۵ هستند. در حالت اول ممکن است سنگ کاملاً^۶ دولومیتی شده باشد (شکل G-۷) یا اینکه دولومیتی شدن انتخابی^۶ بوده و دانه‌ها به تنهایی دولومیتی شده باشند (شکل H-۷). در حالت اول فابریک اولیه سنگ حفظ شده و بنابراین بافت رسوبی اولیه قابل تشخیص می‌باشد. در حالی که در حالت دوم یا دولومیتی شدن مخرب بافت اولیه کاملاً^۶ از بین رفته و قابل تشخیص نمی‌باشد (شکل I-۷).

- توالی پارازنزی فرآیندهای دیاژنزی

مطالعه پدیده‌های دیاژنزی در سازند آسماری میدان مورد مطالعه نشان می‌دهد که این پدیده‌ها فرآیندهای خطی، یک طرفه و با تأثیر مشابه و یکسان بر روی خواص مخزنی نیستند بلکه فرآیندهای متنوع و مستمری هستند که از زمان رسوب‌گذاری تا اعماق تدفین زیاد و حتی پس از بالآمدگی به دفعات نهشته‌های کربناته را تحت تأثیر قرار داده و وقوع هر یک ممکن است بر وقوع فرآیند دیگر تأثیر داشته و شدت عملکرد فرآیندهای دیگر را متأثر سازد. بنابراین علاوه بر شناخت این فرآیندها در مخزن، شناخت توالی یا تقدم و تأخر آن‌ها نیز موضوع مهمی در بازسازی شرایط مخزن و ارتباط آن با زمان مهاجرت هیدروکربور به داخل آن می‌باشد [۵].

¹ Destructive
² Cloudy core
³ Clear rim
⁴ Fabric retentive
⁵ Fabric destructive
⁶ Selective dolomitization



شکل ۷: تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های دولومیتی سازند آسماری با اندازه‌های بلوری و بافت مختلف در میدان مورد مطالعه. (A) تصویر میکروسکوپی از مادستون دولومیتی خیلی دانه‌ریز یا میکروکریستالین با اندازه بلورهای ۴ میکرون و کوچکتر؛ (B) دولومیت دانه متوسط با اندازه بلورهای حدود ۵۰ میکرون؛ (C) تصویر میکروسکوپی از دولومیت دانه درشت با اندازه بلورهای بزرگتر از ۵۰ میکرون؛ (D, E, F) تصاویر میکروسکوپ الکترونی از دولومیت‌های دانه‌ریز، متوسط و درشت؛ (G) دولومیتی‌شدن انتخابی توسط فابریک با حفظ بافت اولیه؛ (H) دولومیتی-شدن انتخابی؛ (I) دولومیتی‌شدن مخرب که بافت اولیه یک رسوب از بین رفته است.

همزمان با رسوب‌گذاری نهشته‌های کربناته سازند آسماری و یا کمی پس از رسوب‌گذاری آن‌ها، فعالیت موجودات باعث ایجاد آشفستگی‌هایی در رسوبات گردیده که با آثاری هم‌چون تغییرات محلی رنگ و بافت رسوبات قابل تشخیص است. فعالیت‌های زیستی سیانوباکتری‌ها و جلبک‌ها باعث تشکیل پوشش‌های میکربایتهی در اطراف برخی از دانه‌های اسکلتی و اوئیدها شده و مراحل اولیه تراکم مکانیکی باعث تراکم اولیه و خروج بخش زیادی از آب درون منفذی و نزدیک شدن دانه‌ها شده است. در این مرحله، آب دریا با نسبت Mg/Ca بالا، سیمان‌های دریایی نوع حاشیه‌ای هم‌ضخامت یا ایزوپکوس را اطراف قطعات اسکلتی و غیراسکلتی به‌ویژه اوئیدها تشکیل داده که تا اندازه‌ای از تراکم بیشتر رسوبات در مراحل بعدی دیاژنز جلوگیری کرده است. در ادامه، سیمان‌های درشت بلور کلسیت اسپاری بخش زیادی از فضاهای بین‌دانه‌ای و درون دانه‌ای موجود در بسیاری از افق‌های گریستونی رسوبات آسماری فراگرفته‌اند. فاصله زیاد دانه‌ها یا حجم زیاد این نوع سیمان‌ها در فضاهای بین‌دانه‌ای و درون دانه‌ای که نشان‌دهنده تأثیر کم تراکم بر رسوبات تا این مرحله می‌باشد، مؤید تشکیل

این نوع سیمان‌ها در محیط دریایی یا مرحله اولیه دیاژنزی است. در برخی نمونه‌ها این نوع سیمان‌ها در دیواره داخلی و خارجی قطعات اسکلتی بلافاصله پس از تشکیل سیمان میکرایتی و دانه‌ریز دریایی تشکیل شده‌اند. در بخش‌های حاشیه‌ای و کم‌عمق رمپ کربناته آسماری (پهنه جزر و مدی) دولومیت‌های دانه‌ریز (موسوم به دولومیت‌های اولیه) در مراحل آغازین دیاژنزی تشکیل شده‌اند. شرایط آب و هوایی خشک حاکم بر حوضه رسوبی زاگرس در زمان میوسن باعث تشکیل گسترده نودول‌های انیدریتی در نهشته‌های کم‌عمق رمپ داخلی به‌ویژه در بخش‌های محدود شده و خیلی‌شور لاگون و حاشیه لاگون شده است. با توجه به اشغال فضاهای بین‌دانه‌ای زیاد توسط سیمان انیدریتی در برخی نمونه‌ها و ارتباط این نوع سیمان با سیمان‌های دریایی اولیه نوع ایزوپیکوس و اشکال تراکم مکانیکی و شیمیایی، به نظر می‌رسد که بخشی از سیمان‌های انیدریتی نیز در اعماق تدفین کم تشکیل شده باشد. هم‌زمان با وقوع پدیده‌های دیاژنزی مذکور، در محیط فرآتیک دریایی تا عمق تدفین کم، تراکم به عنوان پدیده دیاژنزی مستمر رسوبات را تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش بیشتر حجم فضای بین‌دانه‌ای گردیده است.

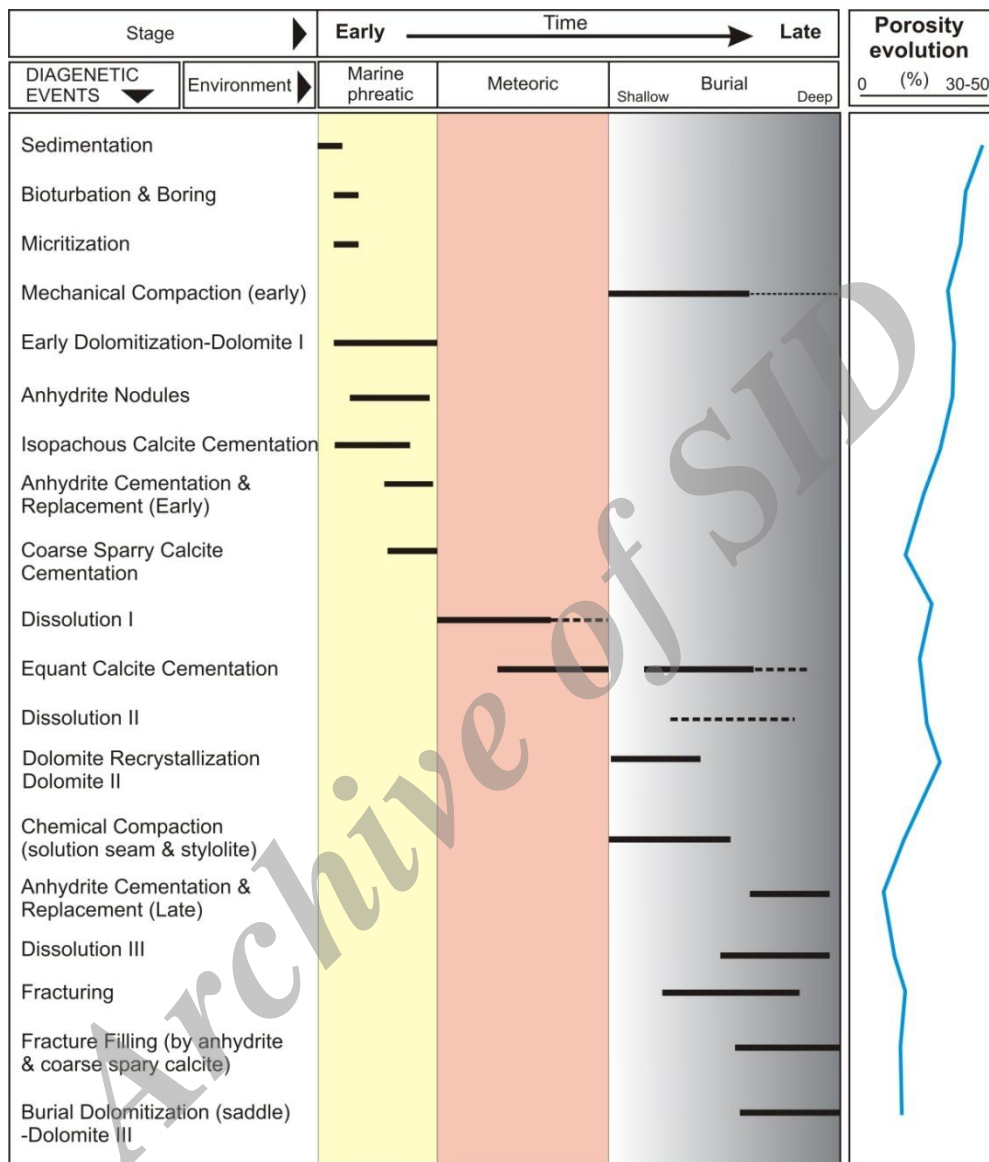
فرآیندهای دیاژنزی در محیط متئوریک ادامه پیدا می‌کند. نهشته‌هایی که تحت تأثیر دیاژنزی در محیط فرآتیک دریایی تا عمق تدفین کم، متحمل تراکم و سیمانی شدن اولیه (سیمان‌های ایزوپیکوس و بخشی از سیمان‌های اسپاری درشت‌بلور) گردیده بودند، در این مرحله متأثر از نفوذ آب‌های متئوریک و تحت اشباع نسبت به کربنات کلسیم گردیده و بخشی از اجزاء اسکلتی و غیراسکلتی (اوئیدها) با ترکیب کانی‌شناسی ناپایدار (آراگونیت و کلسیت با منیزیم بالا) موجود در آن‌ها حل می‌شود. لذا مهم‌ترین پدیده دیاژنزی در این محیط، انحلال و تشکیل انواع تخلخل‌های ثانویه بین‌دانه‌ای، درون‌دانه‌ای، قالبی و حفره‌ای می‌باشد. البته مشاهدات پتروگرافی و رابطه بین اشکال مختلف دیاژنزی در سازند آسماری نشان می‌دهد که تمام فضاهای خالی انحلالی توسط آب‌های متئوریک بوجود نیامده و بخشی از این تخلخل‌های انحلالی در مرحله دیاژنزی تدفینی ایجاد شده‌اند. انحلال در این محیط عمدتاً¹ از نوع انحلال انتخابی¹ بوده و تخلخل‌های قالبی اسکلتی و قالبی اوئیدی را به‌ویژه در رخساره‌های دانه-پشتیبان متعلق به محیط رسوبی پرانرژی تشکیل داده است. به نظر می‌رسد که بخشی از سیمان‌های کلسیتی نوع هم‌بعد در این محیط دیاژنزی فضاهای خالی بین‌دانه‌ای و درون‌دانه‌ای را فرا گرفته باشند. در ادامه فرآیند تراکم، ضمن کاهش بیشتر فضاهای بین‌دانه‌ای، آلوکم‌های کربناته به هم نزدیک‌تر شده و مرزهای مسطح تا نیمه مسطح بین آن‌ها ایجاد می‌شود. در این محله هنوز آتاری از تراکم شیمیایی و تشکیل استیلولیت مشاهده نمی‌شود. با ادامه تدفین، ورود شورابه‌های با منیزیم بالا سبب شده تا نسبت Mg/Ca افزایش یافته و دولومیتی شدن رخ دهد. به نظر می‌رسد که دولومیت‌های سازند آسماری در میدان مورد مطالعه اکثراً طبق این مدل تشکیل شده باشند.

ظهور اشکال تراکم شیمیایی هم‌چون مرزهای محدب-مقعر دانه‌ها، رگچه‌های انحلالی و نهایتاً¹ استیلولیت‌ها در سازند آسماری نشان دهنده دیاژنزی محیط تدفینی می‌باشد. تراکم مکانیکی شدید در برخی زون‌های اوئیدگرینستونی باعث کاهش چشم‌گیر تخلخل و ایجاد فابریک درهم شده است. البته در برخی افق‌های اوئید/بایوکلاست گرینستون، دولومیتی شدن و تشکیل وسیع سیمان دریایی ایزوپیکوس در اطراف قطعات اسکلتی و اوئیدها از تراکم مکانیکی زیاد جلوگیری کرده است. بخشی از سیمان‌های اسپاری هم‌بعد به‌ویژه سیمان‌های مرتبط با انحلال فشاری (در مجاورت زون‌های استیلولیتی) و هم‌چنین سیمان‌های انیدریتی در شرایط تدفینی تشکیل شده‌اند. تشکیل دولومیت‌های مخرب با بلورهای بزرگ (بزرگتر از ۱۰۰ میکرون) و نیمه‌شکل‌دار، یکی دیگر از پدیده‌های دیاژنزی است که در شرایط تدفین عمیق رخ می‌دهد. شکستگی‌ها که تمام اجزاء تشکیل‌دهنده سنگ اعم از دانه‌ها، ماتریکس، سیمان و اشکال دیاژنزی هم‌چون دانه‌های متراکم‌شده و استیلولیت‌ها را

¹ Selective dissolution

قطع می‌کنند، و هم‌چنین سیمان‌های کلسیت اسپاری پرکننده شکستگی‌ها جزء آخرین پدیده‌های محیط دیاژنزی دفن عمیق می‌باشند.

در شکل ۸ توالی پاراژنزی پدیده‌های دیاژنزی در بخش‌های کربناته سازند آسماری در میدان چشمه‌خوش و ارتباط آن‌ها با زمان، عمق تدفین و تغییرات مقدار تخلخل در این سازند ارائه شده است.



شکل ۸: توالی پاراژنزی فرآیندهای دیاژنزی در سازند آسماری میدان مورد مطالعه

۵. زون‌بندی دیاژنزی مخزن آسماری

به منظور بررسی ارتباط پدیده‌های دیاژنزی با خواص پتروفیزیکی (تخلخل و تراوایی مغزه و اشباع‌شدگی سیال)، نوع و مقدار تخلخل قابل رویت، سنگ شناسی، بافت و رخساره رسوبی در توالی کربناته سازند آسماری، نمودار تغییر پارامترهای مذکور در یکی از چاه‌های میدان مورد مطالعه ترسیم گردید (شکل ۹). این نمودار با هدف ارائه زون‌بندی دیاژنزی در بخش کربناته

سازند آسماری ارائه شد. محدوده‌های عمقی که در آن پارامترهای دیاژنزی خاصی باعث تغییر در خواص پتروفیزیکی افق-های با بافت، رخساره و سنگ‌شناسی متفاوت شده‌اند تفکیک و به عنوان زون‌های دیاژنزی^۱ معرفی گردیدند. باتوجه به تفاوت‌های اساسی در پدیده‌های دیاژنزی کنترل‌کننده کیفیت مخزنی در آهک‌ها و دولومیت‌ها، در تفکیک زون‌های دیاژنزی مرز سنگ‌شناسی آهک و دولومیت مورد توجه بوده است.

تراکم که به دو شکل مکانیکی و شیمیایی ظاهر می‌شود هم‌چون سایر پدیده‌های دیاژنزی از زمان رسوب‌گذاری آغاز می‌شود، لذا تمام سنگ‌های رسوبی بر حسب تاریخچه تدفین با شدت‌های متفاوتی تحت تأثیر این پدیده قرار گرفته‌اند اما در این زون‌بندی تأثیر یا عدم تأثیر تراکم بر یک نمونه یا محدوده عمقی بر مبنای وجود یا عدم وجود آثار و علائم تراکم مکانیکی (درهم‌رفتگی و شکستگی دانه‌ها) و شیمیایی (رنگچه‌های انحلالی و استیلولیت) مشخص گردید. به عبارت دیگر طبیعی است که کل توالی کربناته سازند آسماری متأثر از فرآیند تراکم بوده اما در زون‌های مشخصی تأثیر تراکم بیشتر بوده و اثرات آن به اشکال مشخصی قابل برداشت است. حال آن‌که نبود این سیمان‌ها یا اشکال دیاژنزی نشان‌دهنده عدم تأثیر این پدیده نمی‌باشد بلکه شدت کم عملکرد آن در این بخش‌ها محدود به از دست دادن آب، فشردگی ماتریکس سنگ و کاهش فضاهای بین‌دانه-ای می‌باشد.

لازم به ذکر است که عدم وجود فضاهای خالی انحلالی در یک بخش از توالی کربناته، دلیل بر عدم عملکرد پدیده انحلال در آن بخش نمی‌باشد چرا که در طی تاریخچه رسوب‌گذاری و تدفین، نهشته‌های کربناته می‌توانند به دفعات در معرض فرآیندهای انحلال و سیمانی‌شدن قرار گیرند. اما در هر صورت به منظور بررسی ارتباط شدت عملکرد پدیده انحلال با رخساره‌های رسوبی سازند آسماری، مجموع فراوان‌ترین اشکال تخلخل انحلالی (قالبی و حفره‌ای) در هر رخساره به عنوان شاخصی از شدت انحلال در آن رخساره ارائه گردید.

به منظور بررسی ارتباط بین شدت دولومیتی‌شدن و کیفیت مخزنی در سازند آسماری میدان چشمه‌خوش، شاخص دولومیتی-شدن^۲ (با استفاده از رابطه ۱) محاسبه و نمودار تغییرات آن در کنار سایر پارامترها ترسیم گردید.

$$\text{رابطه (۱)} \quad 100 = \frac{(\text{دولومیت})}{(\text{کلسیت}) + (\text{دولومیت})} \times \text{شاخص دولومیتی‌شدن}$$

شکل ۹ نشان می‌دهد که تأثیر پدیده‌های متنوع دیاژنزی با شدت‌های متفاوت بر سازند آسماری باعث تشکیل زون‌های باکیفیت مخزنی متفاوت شده است. زون‌های معرفی شده در محدوده‌های عمقی دارای مغزه، بر اساس افزایش عمق از ۱ تا ۳۲ نام‌گذاری شدند (شکل ۹). پس از تفکیک زون‌های با فرآیندهای دیاژنزی متفاوت، مقادیر متوسط پارامترهای کمی هم-چون انحلال، تخلخل موثر لاگ، تخلخل و تراوایی مغزه و اشباع‌شدگی نفت نیز برای هر یک از زون‌ها ترسیم گردید (شکل ۹).

با توجه به ضخیم‌تر بودن توالی دولومیتی سازند آسماری از تعداد ۳۲ زون معرفی شده تعداد ۲۱ زون به بخش‌های دولومیتی و ۱۱ زون به بخش‌های آهکی تعلق دارد.

- زون‌های دیاژنزی در بخش‌های دولومیتی

همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود کیفیت مخزنی در افق‌های دولومیتی غالباً متأثر از درصد دولومیتی‌شدن، شدت تأثیر تراکم و سیمانی‌شدن تبخیری می‌باشد. بطورکلی مقایسه نمودار تغییرات تخلخل، تراوایی و به‌ویژه اشباع نفت با سنگ‌شناسی

¹ Diagenetic zones or DZ

² Dolomitization index

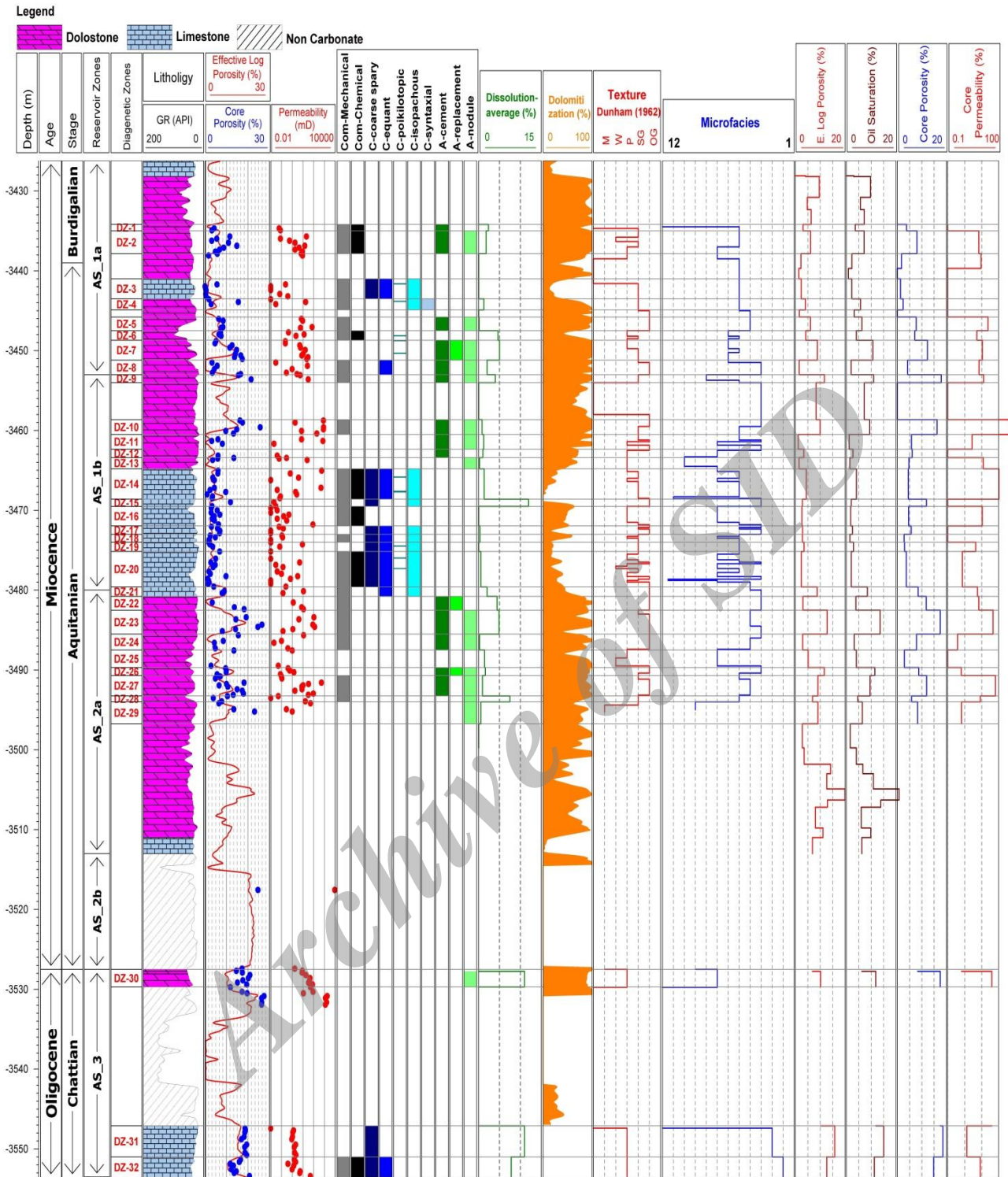
افق‌های کربناته سازند آسماری نشان می‌دهد که فرآیند دولومیتی شدن از طریق ایجاد تخلخل بین‌بلوری و ایجاد شبکه به هم پیوسته‌ای از فضاهای خالی از یک سو و کاهش تاثیر پدیده تراکم از سوی دیگر باعث افزایش تخلخل و تراوایی و کیفیت مخزنی شده است. در زون‌هایی که دولومیتی شدن در بافت دانه-پشتیبان رخ داده و سیمان انیدریتی گسترش کمی دارد کیفیت مخزنی به مراتب بیشتر می‌باشد (هم‌چون زون‌های ۲۳، ۲۷، ۳۰ و ۱۰)، (شکل ۱۰-A). وجود تخلخل‌های انحلالی (قالبی و حفره‌ای) در این شبکه فضاهای خالی بین‌بلوری باعث افزایش بیشتر مقادیر تخلخل و تراوایی خواهد شد. در افق‌های دولومیتی که سیمانی شدن انیدریت و یا تراکم گسترش زیادی یافته است بخش عمده‌ای از فضاهای خالی از بین رفته است (هم‌چون زون‌های ۱۲، ۱۱، ۱۳ و ۲۴)، (شکل‌های ۱۰-B و ۱۰-C).

– زون‌های دیاژنزی در بخش‌های آهکی

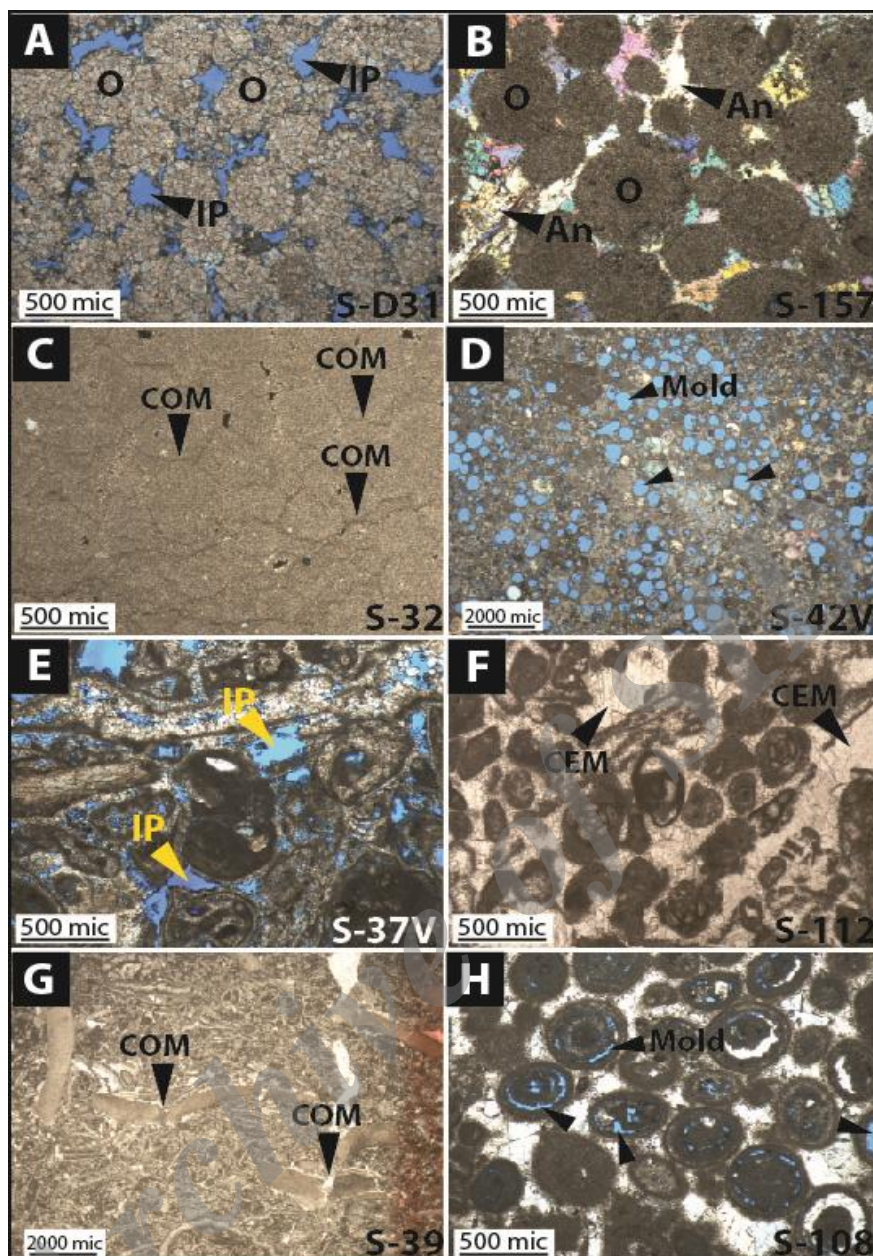
مقایسه نتایج مطالعات پتروگرافی با پتروفیزیکی در بخش‌های آهکی سازند آسماری نشان می‌دهد که عدم وجود دو پدیده دیاژنزی فراگیر و تأثیرگذار بر کیفیت مخزنی هم‌چون دولومیتی شدن و سیمانی شدن انیدریتی باعث شده تا پیچیدگی ارتباط خواص مخزنی با پدیده‌های دیاژنزی در این افق‌ها کمتر باشد.

در بخش‌های آهکی این سازند مهم‌ترین پدیده‌های دیاژنزی کنترل‌کننده تخلخل و تراوایی سیمانی شدن کلسیتی، تراکم و انحلال می‌باشند. در بسیاری از افق‌های آهکی سیمانی شدن شدید کلسیتی (به‌ویژه سیمان‌های اسپاری درشت، هم‌بعد و فراگیرنده) و تراکم باعث شده که حتی در صورت تأثیر انحلال و تشکیل فضاهای خالی قالبی و حفره‌ای، ارتباط مناسبی بین فضاهای خالی نبوده و تراوایی افزایش قابل توجهی نیابد (F-۱۰ و G-۱۰). به‌عنوان مثال در زون ۱۵ (گرینستون‌های اوئیدی) با وجود تأثیر شدید انحلال و تشکیل تخلخل قالبی اوئیدی تا ۱۵ درصد، سیمان کلسیت اسپاری فضاهای بین‌اوئیدی را فراگرفته و متوسط تراوایی را به ۰/۰۲ میلی‌داری کاهش داده است (شکل H-۱۰). تأثیر شدید تراکم و سیمانی شدن کلسیتی در برخی از زون‌ها هم‌چون زون‌های ۳، ۲۰، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ باعث کاهش شدید تخلخل و تراوایی (به کمتر از ۳ درصد و ۰/۷ میلی‌داری) و تبدیل آن‌ها به افق‌های غیرمخزنی شده است. از سوی دیگر انحلال گسترده در زون‌های ۳۱ و ۳۲ و وجود تخلخل بین‌دانه‌ای در پکستون‌های اسکلتی این زون باعث ارتباط فضاهای خالی انحلالی گردیده و تراوایی را افزایش داده به طوری که این زون‌ها از بهترین زون‌های تولیدکننده نفت در میدان مورد مطالعه محسوب می‌شوند.

با توجه به مهم‌ترین پدیده‌های دیاژنزی کنترل‌کننده تراوایی و قابلیت تولید از توالی کربناته سازند آسماری در میدان مورد مطالعه، نمودار لوزی‌شکلی که در گوشه‌های آن تراکم، سیمانی شدن، انحلال و تخلخل بین‌دانه‌ای قرار گرفته است طراحی گردید (شکل ۱۱). در این نمودار، محور تخلخل بین‌دانه‌ای (شامل تخلخل بین‌ذره‌ای و بین‌بلوری) و انحلال در محدوده ۰ تا ۲۰ درصد مدرج گردید. درصد انحلال دربرگیرنده مجموع فضاهای خالی قالبی و حفره‌ای می‌باشد. تراکم و سیمانی شدن، بر حسب شدت تأثیر، از ۰ تا ۵ تقسیم‌بندی شده است (جدول ۲).



شکل ۹: نمودار ارتباط زون‌های دیاژنزی سازند آسماری با خواص مخزنی آن (تخلخل، تراوایی و اشباع نفت)

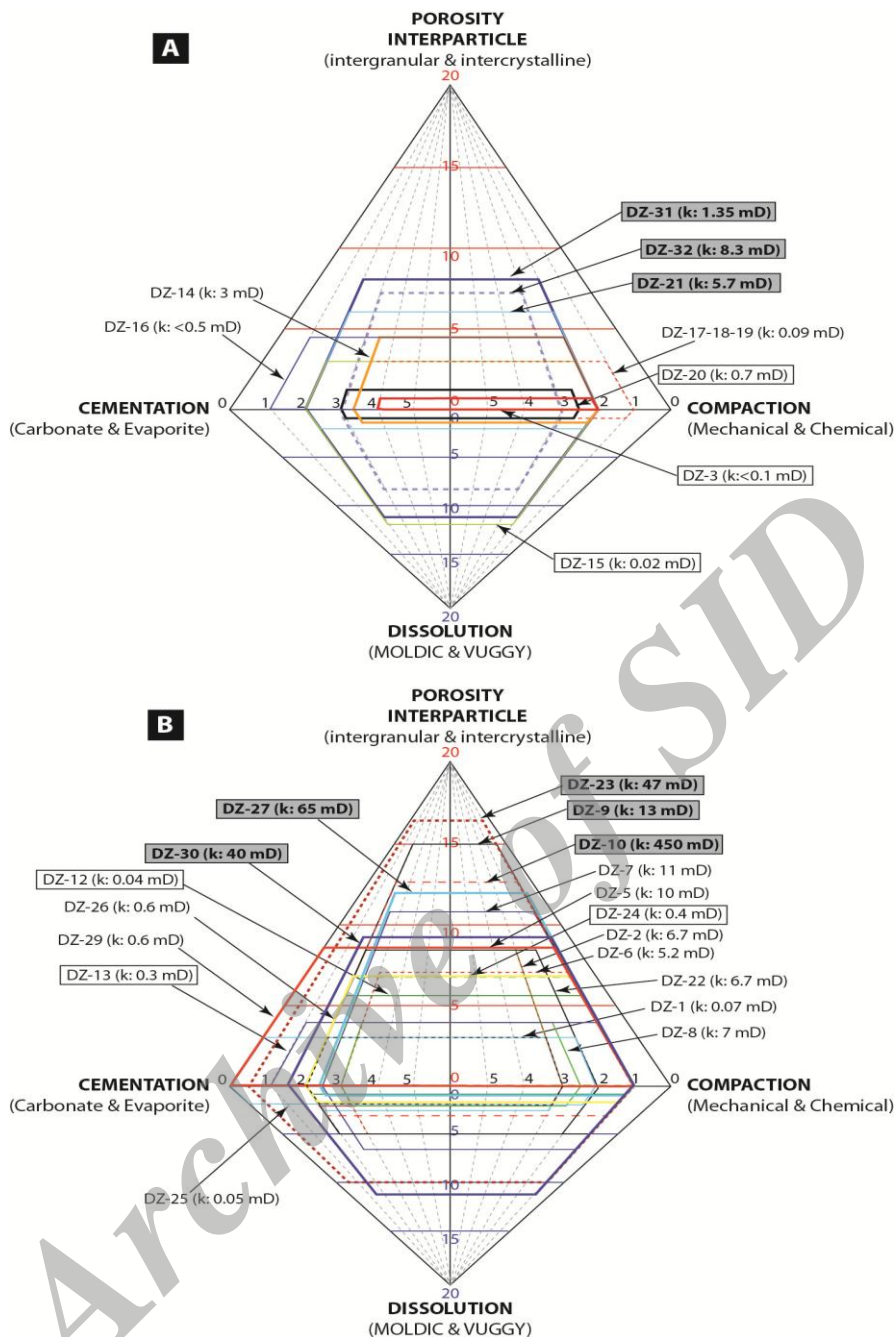


شکل ۱۰: تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های زون‌های دیاژنزی سازند آسماری. (A) اوئید گرینستون دولومیتی دارای تخلخل بین‌دانه‌ای زیاد (IP)، با تراکم و سیمانی‌شدن محدود، تخلخل مغزه ۱۸/۲ درصد و تراوایی مغزه ۵۲۳ میلی‌داری. (B) اوئید گرینستون دولومیتی دارای تخلخل بین‌دانه‌ای بسیار کم، با سیمان‌اندیریتی شدید (An)، تخلخل مغزه ۸/۵ درصد و تراوایی مغزه ۰/۱ میلی‌داری. (C) اوئید گرینستون دولومیتی فاقد تخلخل بین‌دانه‌ای، با تراکم شدید، تخلخل مغزه ۳/۹ درصد و تراوایی مغزه ۰/۳ میلی‌داری. (D) اوئید گرینستون دولومیتی دارای تخلخل قالبی زیاد (Mold)، ارتباط بسیار محدود فضاهای خالی قالبی، تخلخل مغزه ۱۶ درصد و تراوایی مغزه ۰/۷ میلی‌داری. (E) آهک اسکلتی با بافت گرینستون دارای تخلخل بین‌دانه‌ای زیاد (IP)، با آثار محدود تراکم و سیمانی‌شدن، تخلخل مغزه ۱۲/۴ درصد و تراوایی مغزه ۱۶۱ میلی‌داری. (F) آهک اسکلتی با بافت گرینستون، فاقد تخلخل بین‌دانه‌ای، با سیمانی‌شدن شدید از نوع کلسیت اسپاری فراگیرنده (CEM)، تخلخل مغزه ۱/۹ درصد و تراوایی مغزه ۰/۰۱ میلی‌داری. (G) آهک اسکلتی با بافت پکستون، با تخلخل بین‌دانه‌ای محدود و تراکم مکانیکی شدید (COM) و سیمانی‌شدن کلسیتی، تخلخل مغزه ۵/۰۸ درصد و تراوایی مغزه ۰/۲۳ میلی‌داری. (H) آهک اوئیدی با بافت گرینستون، فاقد تخلخل بین‌دانه‌ای، با سیمانی‌شدن شدید و تخلخل قالبی در داخل اوئیدها (Mold)، تخلخل مغزه ۶/۹ درصد و تراوایی مغزه ۰/۰۳ میلی‌داری.

جدول ۲: محدوده تغییرات شدت تراکم و سیمانی شدن

سیمانی شدن (%)	شدت تراکم	
۰-۵	بدون تراکم (رسوب کربناته)	۰
۵-۱۰	سنگ کربناته فاقد آثار تراکم	۱
۱۰-۲۰	آثار تراکم مکانیکی محدود	۲
۲۰-۳۰	تراکم مکانیکی زیاد	۳
۳۰-۴۰	آثار تراکم مکانیکی و شیمیایی	۴
۴۰-۵۰	تراکم مکانیکی و شیمیایی شدید	۵

مطابق این نمودار با افزایش شدت تراکم و یا درصد سیمان، درصد بیشتری از تخلخل بین‌دانه‌ای کاهش پیدا کرده و تراوایی سنگ نیز کم می‌شود (زون‌های ۳ و ۲)، (شکل‌های ۱۰-B، ۱۰-C، ۱۰-F و ۱۰-G). در مقابل کاهش شدت تأثیر تراکم و سیمانی شدن و وجود تخلخل بین‌دانه‌ای باعث افزایش تراوایی می‌گردد (زون‌های ۲۳، ۲۷، ۳۰ و ۱۰)، (شکل‌های ۱۰-A و ۱۰-E). انحلال و گسترش تخلخل انحلالی (قالبی و حفره‌ای) در صورتی که توسط فضاهای خالی مفید از نوع بین‌دانه‌ای و بین‌بلوری با یکدیگر ارتباط پیدا نکنند تأثیری بر افزایش تراوایی نخواهد داشت (زون ۱۵)، (شکل‌های ۱۰-D و ۱۰-H). اما در صورت ارتباط فضاهای انحلالی با یکدیگر تراوایی افزایش قابل توجهی پیدا خواهد کرد (زون‌های ۳۱ و ۳۲). کیفیت مخزنی سازند آسماری در میدان چشمه‌خوش غالباً "توسط پدیده‌های دیاژنزی کنترل شده و بنابراین مهم‌ترین بخش در مدل‌سازی استاتیک این مخزن و تعیین روند توزیع پارامترهای مخزنی، مطالعات دیاژنزی و تعیین زون‌های دیاژنزی در گستره میدان می‌باشد.



شکل ۱۱: دیاگرام ارتباط بین پدیده‌های مهم دیاژنزی (تراکم، سیمانی شدن و انحلال) با خواص مخزنی (تخلخل و تراوایی) در زون‌های دیاژنزی سازند آسماری در میدان چشمه‌خوش. دیاگرام A مربوط به زون‌های آهکی و دیاگرام B مربوط به زون‌های دولومیتی می‌باشد.

۶. نتیجه‌گیری

محدوده وسیع تغییرات تخلخل و تراوایی در غالب رخساره‌های سازند آسماری حاکی از عدم تبعیت خواص مخزنی از رخساره‌های رسوبی در این سازند است. بنابراین خواص مخزنی سازند آسماری در میدان مورد مطالعه توسط فرآیندهای دیاژنزی کنترل می‌شود.

مقایسه مقادیر متوسط و حداکثر تخلخل و تراوایی در افق‌های دولومیتی با افق‌های آهکی نشان می‌دهد که دولومیتی شدن مهم‌ترین پدیده دیاژنزی افزایش‌دهنده تخلخل و تراوایی در این سازند می‌باشد. دولومیت‌های متوسط بلور که اثر تبلور مجدد

دولومیت‌های ریزتر و در طی تدفین در اعماق کم تشکیل شده‌اند، از بیشترین ضخامت و گسترش و بیشترین مقادیر تخلخل و تراوایی برخوردار هستند.

تراکم و تشکیل سیمان‌های تبخیری نظیر انیدریت و سلسیت مهم‌ترین پدیده‌های دیاژنزی کاهش‌دهنده تخلخل و تراوایی در افق‌های دولومیتی این سازند می‌باشند. سیمان انیدریتی و انیدریت جایگزینی با اشغال انواع فضاهای بین‌دانه‌ای، قالبی، حفره-ای، بین‌بلوری و بعضاً "کانالی نقش مهمی در کاهش مقدار تخلخل و تراوایی بخش‌های دولومیتی این سازند دارد. از طرف دیگر مشاهدات میکروسکوپی و داده‌های پتروفیزیکی از زون‌های دارای نودول انیدریتی نشان می‌دهد که تشکیل انیدریت به شکل نودول تأثیر چندانی بر کیفیت مخزنی سازند آسماری ندارد.

بنابراین زون‌های دولومیتی دانه متوسط که تأثیر تراکم و تشکیل سیمان تبخیری در آن‌ها کمتر بوده، بیشترین مقادیر تخلخل و تراوایی را داشته و بهترین افق‌های مخزنی محسوب می‌شوند.

تراکم و تشکیل سیمان کلسیتی مهم‌ترین فرآیندهای کاهش‌دهنده تخلخل و تراوایی در افق‌های آهکی سازند آسماری هستند. در صورتی که فضاهای خالی قالبی و حفره‌ای بتواند از طریق وجود شبکه فضاهای بین‌دانه‌ای و یا بین‌بلوری با یکدیگر ارتباط داشته باشد، فرآیند انحلال می‌تواند نقش مهمی در افزایش تخلخل و تراوایی داشته باشد (مانند زون ۳۱) اما در صورت عدم امکان ارتباط با یکدیگر، این فضاهای انحلالی نقشی در بهبود کیفیت مخزنی نخواهد داشت (مانند زون ۱۵).

شکل و نحوه آرایش سیمان حاشیه‌ای هم‌ضخامت در اطراف دانه‌ها سبب می‌شود که با وجود فراوانی آن‌ها در اکثر رخساره‌های گرینستونی، تأثیر کمی بر روی کاهش تخلخل و در نتیجه تراوایی سنگ داشته باشد. حال آن‌که سیمان‌های کلسیت اسپاری، هم‌بعد و فراگیرنده، که درصد زیادی از فضاهای خالی را اشغال می‌نمایند، نقش مهمی در تضعیف کیفیت مخزنی سازند آسماری دارند.

هیچ یک از پدیده‌های دیاژنزی به تنهایی کنترل‌کننده کیفیت مخزنی نبوده بلکه تلفیق این پدیده‌های دیاژنزی است که باعث بهبود یا تضعیف خواص مخزنی می‌گردد. در هر حال شدت تأثیر برخی از پدیده‌های دیاژنزی می‌تواند در زون خاصی بیشتر بوده و بیشتر از سایر پدیده‌های دیاژنزی کیفیت مخزنی را متأثر سازد.

"هیئت تحریریه مجله از آقایان دکترسید علی معلمی، دکتر علیرضا بشری و دکتر حبیب نیا که داوری مقاله را بر عهده داشته اند کمال تشکر و سپاس را دارد"

منابع فارسی

- [۱] مطیعی، همایون، ۱۳۷۴، "زمین‌شناسی نفت زاگرس، سازمان زمین‌شناسی کشور"، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۰۹ صفحه.
- [۲] زاهدی‌نژاد، جعفر، ۱۳۶۶، "مطالعه زمین‌شناسی بخش ماسه‌سنگ اهواز در حاشیه جنوب غربی حوضه رسوبی آسماری"، اداره کل زمین‌شناسی گسترشی مناطق نفتخیز جنوب، گزارش ۴۰۲۸، ۱۲۵ صفحه.

References

- [1] Ahr, W. M., 2008, *Geology of Carbonate Reservoirs; The Identification, Description, and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks*, A JOHN WILEY and SONS, INC., 277 p.
- [2] Lucia, F. J., 2007, *Carbonate Reservoir Characterization*, Springer - Verlag, Berlin, 226 p. [3] Rahimpour-Bonab, H. and Esrafil-Dizaji, B., 2009, Effects of depositional and diagenetic characteristics on carbonate reservoir quality: a case study from the South Pars gas field in the Persian Gulf. *Petroleum Geoscience*, Vol. 15, pp. 325-344.
- [4] Nader, F. H., Moradpour, M., Samani, P., Hamon, Y., Hosseiny, A., Daniel, J. M., Moallemi, A., and Pickard, N., 2009, Diagenesis of the Asmari Formation (Oligo-Miocene, SW Iran): Implication of reservoir modeling of giant oil field, First International Petroleum Conference of EAGE, Iran.

- [5] Moore, C. H., 2001, Carbonate Reservoirs; Porosity Evolution and Diagenesis in a Sequence Stratigraphic Framework, *Developments in Sedimentology* 55, Elsevier, 444 p.
- [6] Ketzer, J. M. M., 2002, Diagenesis and Sequence Stratigraphy: An Integrated Approach to Constrain Evolution of Reservoir Quality in Sandstones, *Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* 762.
- [7] Honarmand, J. and Amini, A., 2012, Diagenetic processes and reservoir properties in the ooid grainstones of the Asmari Formation, Cheshmeh Khush Oil Field, SW Iran, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 81 pp. 70–79.
- [8] Dickson, J. A. D., 1966, Carbonate identification and genesis as revealed by staining. *J. Sediment. Res.*, Vol. 36, pp. 491–505.
- [9] Meyers, W.J. and Lohmann, K.C., 1985, Isotopic geochemistry of regionally extensive calcite cement zones and marine components in Mississippian limestones, New Mexico: in *Carbonate Cements*, N. Schneiderman and P. Harris, eds., *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication*, No. 36, pp. 223- 240.
- [10] Dorobek, S. L., Read, J. F., Niemann, J. M., Pong, T. C., and Haralick, R. M., 1987, Image analysis of cathodoluminescent-zoned calcite cements. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 57, pp. 766–770.
- [11] Machel, H. G., 2005, Investigations of burial diagenesis in carbonate hydrocarbon reservoir Rocks, *Geosci. Can.* Vol. 32, pp. 103-128.
- [12] Miller, J., 1988, Cathodoluminescence microscopy. In M. Tucker, *Techniques in sedimentology*, Oxford, Blackwell Scientific, pp. 174–190.
- [13] Buxton, M. W. N. and Pedley, H. M., 1989, A standardized model for Tethyan Tertiary carbonate ramps. *Journal of the Geological Society, London*, Vol. 146, pp. 746-748.
- [14] Hunt, D. and Tucker, M. E., 1992, Standard parasequences and the forced regressive wedge system tract: deposition during base-level fall, *Sediment. Geol.*, Vol. 81, pp. 1-9.
- [15] Wilson, J.L., 1975, *Carbonate facies in geologic history*. New York (Springer), 411 p.
- [16] Seyrafian, A., and Hamedani, A., 2003, Microfacies and paleoenvironmental interpretation of the lower Asmari Formation (Oligocene), North-Central Zagros basin, Iran. *N. Jb. Geol. Palaont. Mh.*, no. 3, p. 164-167.
- [17] Read, J. F., 1982, Carbonate platforms of passive (extensional) continental margin-types, characteristics and evolution. *Tectonophysics*, Vol. 81, pp. 195-212.
- [18] Burchette, T.P. and Wright, V.P., 1992, Carbonate ramp depositional systems. *Sed. Geol.*, Vol. 79, pp. 3-57.
- [19] Aqrabi, A., Keramati, M., Ehrenberg, S., Pickard, N., Moallemi, A., Svåná, T., Darke, G., Dickson, J. A. D. and Oxtoby, N. H., 2006, The Origin of Dolomite in the Asmari Formation (Oligocene-Lower Miocene), Dezful Embayment, SW Iran, *Journal of Petroleum Geology*, Vol. 29, No. 4, pp. 381-402.
- [20] Vaziri-Moghaddam, H., Kimiagari, M., and Taheri, A., 2006, Depositional environment and sequence stratigraphy of the Oligo-Miocene Asmari Formation SW Iran, *Facies*, Vol. 52, pp. 41-51.
- [21] Van Buchem, F.S.P., Allan, T., Lausen, G.V., Lotfpour, M., Moallemi, A., Monibi, S., Motiei, H., Pickard, N., Tahmasbi, A.R., Vedrenne, V., Vincent, B., 2010, Regional stratigraphic architecture and reservoir types of the Oligo-Miocene deposits in the Dezful Embayment (Asmari and Pabdeh Formations) SW Iran, 329. *GEOL. SOC. SPEC. PUBL.*, London, pp. 219–263.
- [22] Nichols, G., Williams, E. and Paola, C., 2007, *Sedimentary Processes, Environments and Basins*. International Association of Sedimentologists, 648 p.
- [23] Meyers, W. J., and Hill, B. E., 1983, Quantitative studies of compaction in Mississippian skeletal limestones, New Mexico, *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 53, pp. 231-242.
- [24] Schmoker J.W., Halley R.B., 1982, Carbonate porosity versus depth: a predictable relation for south Florida. *AAPG Bull.*, Vol. 66, No. 12: pp. 2561-2570.
- [25] Longman, M.W., 1980, Carbonate diagenetic textures from nearsurface diagenetic environments, *Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, Vol. 64, pp. 461-487.
- [26] Cantrell, D.L., 2006, Cortical fabrics of Upper Jurassic ooids, Arab Formation, Saudi Arabia: implications for original carbonate mineralogy, *Sediment. Geol.* Vol. 186, pp. 157–170.
- [27] Tucker, M.E., Wright, V.P., 1990, *Carbonate Sedimentology*, Blackwell Scientific, Oxford, pp. 482.
- [28] Bathurst, R. G. C., 1975, Carbonate sediments and their diagenesis, Elsevier, *Developments in sedimentology* ; No. 12, 620 p.
- [29] Flugel, E., 2010, *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*, Springer-Verlag, Berlin, 984 p.
- [30] Kaufman J., Meyers W.J., and Hanson G.N., 1990, Burial cementation in the Swan Hills Formation (Devonian), Rosevear Field, Alberta, Canada. *J. Sediment. Petrol.*, Vol. 60, No. 6, pp. 918-939.

- [31] Ruppel, S. C., and Cander, H. S., 1988, Dolomitization of shallow water platform carbonates by seawater and seawater-derived brines: San Andres Formation (Guadalupian), west Texas, in V. Sukloa and P. A. Baker, eds., *Sedimentology and geochemistry of dolostones: SEPM Special Publication 43*, pp. 245-262.
- [32] Jones, G.D. and Xiao, Y., 2005, Dolomitization, anhydrite cementation, and porosity evolution in a reflux system: Insights from reactive transport models, *AAPG Bulletin*, Vol. 89, No. 5, pp. 577-601.
- [33] Chang, L. L. Y., Howie, R. A. and Zussman, J., 1996, *Rock-forming Minerals: Non-silicates*, second ed., Longman.
- [34] Melvin, J. L., 1991, *Evaporites, Petroleum and Mineral Resources*, Elsevier, *Developments in Sedimentology*, No. 50.
- [35] Mazzullo, S. J. and Chilingarian, G. V., 1992, Diagenesis and origin of porosity (chapter 4). In: G. V. Chilingarian, S. J. Mazzullo, and H. H. Rieke (Editors), *Carbonate reservoir characterization: A Geologic-Engineering Analysis*, part I. Elsevier publ. Co., Amsterdam, pp. 199-270.
- [36] Warren, J., 2000, Dolomite: occurrence, evolution and economically important associations. *Earth-Science Reviews*, Vol. 52, pp. 1-81.
- [37] Gregg, J.M., Sibley, D.F., 1984, Epigenetic dolomitization the origin of xenotopic dolomite texture, *J. Sediment. Petrol.* Vol. 54, pp. 907-931.
- [38] Land, L.S., 1985, The origin of massive dolomite. *J. Geol. Educ.* Vol. 33, pp. 112-125.
- [40] Gregg, J.M., Shelton, K.L., 1990, Dolomitization and dolomite neomorphism in the back reef facies of the Bonnetterre and Davis formations -Cambrian., Southeastern Missouri, *J. Sediment. Petrol.*, Vol. 60, No. 4, pp. 549-562.
- [41] Kopaska-Merkel, D.C., Friedman, G.M., 1989, Petrofacies analysis of carbonate rocks; example from lower Paleozoic Hunton Group of Oklahoma and Texas. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, Vol. 73, No. 11, pp. 1289-1306.
- [42] Sibley, D. F., Gregg, J. M., 1987, Classification of dolomite rock textures, *J. Sediment. Petrol.* Vol. 57, pp. 967-975.
- [43] Adabi, M. H., 2009, Multistage dolomitization of Upper Jurassic Mozduran Formation, Kopet- Dagh Basin, N. E. Iran, *Carbonates and Evaporites*, v.24, p. 16-32.
- [44] Sibley, D.F., 1980, Climatic control of dolomitization, Seroe Domi Formation-Pliocene., Bonaire, N.A. In: Zenfger, D.H., Dunham, J.B., Ethington, R.L. _Eds., *Concepts and Models of Dolomitization*, Spec. Publ.-SEPM Vol. 28, pp. 247-258.
- [45] Al-Aasm, I. S., Ghazban, F., and Ranjbaran, M., 2009, Dolomitization and related fluid evolution in the Oligocene -Miocene Asmari Formation, Gachsaran area, SW Iran: Petrographic and isotopic evidence, *Journal of Petroleum Geology*, Vol. 32, No. 3, pp. 287-304.
- [46] Choquette P. W., and Pray, L. C., 1970, Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates, *AAPG Bulletin*, Vol. 54, No. 2, pp. 207-250.

Diagenetic controls on reservoir quality of the Asmari carbonate succession in the Cheshmeh Khush Field, SW Iran

Honarmand J., Amini A.

Abstract

The Oligo-miocene Asmari Formation in the Cheshmeh Kush Oil Field consists of a mixed carbonate-siliciclastic succession. The carbonate intervals of the Formation display a high degree of vertical heterogeneity created by a complex diagenetic history. This study is aimed to investigate the effect of diagenetic events on reservoir quality of carbonate intervals of the Asmari Formation. Core samples and thin sections were studied from sedimentological and diagenetic point of view. Results from cathodoluminescence and scanning electron microscopy were used to investigate diagenetic features in details. Core analysis data (porosity and permeability) and wire-line logs (porosity and oil saturation values) from studied interval were used in order to examine reservoir properties.

Diagenetic studies and their comparison with petrophysical data demonstrated that dolomitization, cementation (calcite, anhydrite and celestite cements), compaction and dissolution are the most important diagenetic events affecting porosity and permeability of the reservoir. Based on vertical distribution of diagenetic features and reservoir characteristics, diagenetic zones (DZ) of the carbonate succession were introduced. Medium crystalline dolostones with sparse compaction features and limited anhydrite cement (DZ-23, 27 and 30) comprise the highest value of porosity and permeability. Whereas intense mechanical and chemical compaction and evaporate (anhydrite and celestite) cementation in some dolomitic intervals have thoroughly reduced reservoir quality (DZ-12, 11 and 24). Compaction and calcite cementation (coarse spary, equant and poikilotopic types) in some limestone intervals damaged reservoir properties and created non-reservoir intervals (DZ-3, 20 and 17). In contrast, high value of interparticle and dissolution porosities along with minor compaction and cementation effects has improved reservoir properties of the Asmari limestones (DZ-31 and 32).

This study shows that the reservoir characteristics of the Asmari Formation in the studied field are dominantly affected by diagenetic events and therefore diagenetic studies and determination of diagenetic zones in field-scale are the most important part in static reservoir modeling and reservoir quality prediction of the reservoir.

Key words: Diagenesis, reservoir quality, Asmari, Cheshmeh Kush oil field